



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Vera Ketonen

Itsestään puhdistuvien kiviainesjulkisivumaalien tuotevertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pinnoitetekniikka

Insinöörityö

16.11.2021

Tekijä Otsikko	Vera Ketonen Itsestään puhdistuvien kiviainesjulkisivumaalien tuotevertailu
Sivumäärä Aika	30 sivua + 2 liitettä 16.11.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Arto Yli-Pentti Tuotepäällikkö Miika Kujo
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Sto Finexter Oy:n toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli tehdä erilaisia kokeita neljälle eri vettä hylkivänä, puhtaana pysyvänä tai itsepuhdistuvana myytävälle kiviainesjulkisivumaalituotteelle. Kokeiden perusteella tehtiin vertailu maalien kesken painottaen maalin paremmuutta itsepuhdistuvuudessa.</p> <p>Työn teoriaosiossa tarkasteltiin itsepuhdistuvuuteen vaikuttavia ominaisuuksia, sekä julkisivumaalin vaatimia kosteusteknisiä ominaisuuksia. Itsepuhdistuvuuden kannalta tarkasteltiin pintajännitystä, kontaktikulmaa, hydrofobisuutta ja maalien sideainetta silikonihartsia. Julkisivumaalin vaatimia ominaisuuksia tarkasteltiin rakennuksissa liittyviin kosteusteknisiin ominaisuuksiin ja mitä maalilta vaaditaan julkisivulla.</p> <p>Tutkimusosiossa suoritettiin neljä eri koetta, jotka tehtiin neljälle eri tuotteelle. Kokeet valikoitiin itsepuhdistuvuuden ja maalin toimivuuden mukaisesti. Kokeet tehtiin standardien SFS-EN ISO 7783:2018, SFS EN 1062-3:2008, SFS-EN ISO 19403-2:2020 ja SFS-EN 1062-1 mukaisesti ja lisäksi tehtiin visuaalinen tarkastelu. Jokaisesta tuotteesta valmistettiin kuhunkin kokeeseen kolme vertailunäytettä.</p> <p>Työhön valikoidut kokeet saatiin tehtyä ja tulosten perusteella tuotteet sijoitettiin paremmuusjärjestykseen itsepuhdistuvuuden kannalta, minkä perusteella tuloksista saatiin muodostettua vertailutaulukko. Osassa kokeita havaittiin puutteita, jotka saattoivat osittain vaikuttaa tuloksiin.</p>	
Avainsanat	itsepuhdistuva maali, pintajännitys, kontaktikulma

Author Title	Vera Ketonen Product Comparison of Self-Cleaning Façade Paints
Number of Pages Date	30 pages + 2 appendices 16 November 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Materials and Surface Engineering
Instructors	Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer Miika Kujo, Product Manager
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Sto Finexter Oy. The aim of the thesis was to carry out tests to four different façade paints which are sold as paints which are self-cleaning or water repellent or which stay clean well. A comparison table was made on the basis of the test results and to highlighting the superiority of self-cleaning feature.</p> <p>The theoretical part of this thesis project was examined the properties affecting features of self-cleaning paints, as well as the demanding features of moisture on façade paints. In terms of self-cleaning the surface tension, contact angle, hydrophobicity and silicon resin adhesive of paints were examined. The properties required of the façade paint were examined in terms of the moisture technical properties related to the buildings and requirements for the paint on the façade.</p> <p>In the experimental part four different test were performed on four different products. Tests were selected according to their importance for self-cleanability and terms for paint performance on the façade. Tests were made based on for following standards SFS-EN ISO 7783:2018, SFS EN 1062-3:2008, SFS-EN ISO 19403-2:2020 and SFS-EN 1062-1. In addition, visual inspections were also performed. Three control samples were made from each product for each experiment.</p> <p>Selected tests were completed and on the basis of the results, the products were ranked in terms of self-cleaning. A comparison table of the results was created on the basis of the rankings. Deficiencies were found in some of the tests that could have partially affected the results.</p>	
Keywords	self-cleaning paint, surface tension, contact angle

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Itsepuhdistuva julkisivumaali	2
2.1	Julkisivu	2
2.2	Kosteus	3
2.2.1	Diffuusio	3
2.2.2	Kapillaarinen siirtyminen	4
2.2.3	Hygroskooppisuus	5
2.3	Silikonihartsit	5
2.4	Pintajännitys	6
2.5	Hydrofobisuus	8
3	Työssä tutkittavat maalit	10
3.1	StoColor Lotusan®	10
3.2	Weber Aquaclean	10
3.3	Fescon Silikonihartsimaali	10
3.4	Tikkurila Finngard Clean	11
4	Suoritettavat kokeet	11
4.1	Vesihöyrynläpäisevyys	11
4.2	Vedenläpäisevyys	13
4.3	Kontaktikulma	14
4.4	Visuaalinen tarkastelu	16
5	Tulokset	17
5.1	Vesihöyrynläpäisevyys	17
5.2	Vedenläpäisevyys	19
5.3	Kontaktikulma	20
5.4	Visuaalinen tarkastelu	24
6	Tulosten analysointi	26
6.1	Vertailu	27

6.2 Tulosten epävarmuus	29
7 Yhteenveto	29
Lähteet	31
Liitteet	
Liite 1. Kontaktikulmakokeiden tulokset	
Liite 2. Vesihöyrynläpäisevyyskokeiden tulokset	

1 Johdanto

Tämä insinööri työ sisältää neljän eri maalituotemerkin vertailun kiviainespinnoille soveltuvien julkisivumaalien itsepuhdistuvuudesta. Työ on tehty Sto Finexter Oy:n toimeksiannosta, ja yrityksen toimiala on julkisivu-, betoni-, lattia- ja sisätilatuotteiden myynti ja markkinointi. Sto Finexter Oy on tytäryhtiö Sto Scandinavia AB:lle. Maailmanlaajuinen konserni on saksalainen Sto SE & Co. KGaA. Sto Finexter Oy:stä tuli yhtiön jäsen vuonna 2002, vaikka toimintaa oli Suomessa ollut jo kymmenisen vuotta. Stolla on ollut markkinoilla oma itsepuhdistuvajulkisivumaali tuotemerkki jo 20 vuotta. Vastaavanlaisia tuotteita on tullut vasta viime vuosina muiltakin yrityksiltä Suomen markkinoille. [1.]

Työn tarkoituksena on testata ja vertailla eri valmistajien omia itsepuhdistuvien kivijulkisivumaalien ominaisuuksia ja laatia vertailua varten toimiva taulukko, testituloksien pohjalta. Työn teoriaosassa on käsitelty julkisivupinnoitteen tarkoitusta ja merkitystä rakennuksissa. Lisäksi teoriaosassa käsitellään kiviainesjulkisivumaaleille tärkeiden fysikaalisten ominaisuuksien tietoja ja perusteita. Työssä tehdyt kokeet valittiin näiden fysikaalisten ominaisuuksien perusteella, jotta voitaisiin vertailla tuotteita itsepuhdistuvuuden näkökulmasta ja osittain julkisivumaalien vaatimista ominaisuuksista.

Vertailua varten valittiin ja suoritettiin neljä erilaista testiä, joiden perusteella voidaan määritellä ja luokitella itsepuhdistuvien maalien toimivuutta. Julkisivumaaleille tehtiin vedenläpäisevyys-, vesihöyrynläpäisevyys-, kontaktikulmamittaus- ja visuaalinen koe. Visuaalinen koe on täysin silmämääräisesti määritelty ominaisuus, joten sen arvo vertailussa on pieni. Testattavat tuotteet olivat kaikki silikonihartsipohjaisia maalipinnoitteita, jotka soveltuvat kiviainesjulkisivuille ja ovat Suomen markkinoilla myynnissä. Kokeet suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa ja testilaitteistolla.

2 Itsepuhdistuva julkisivumaali

Itsepuhdistuva julkisivumaali voidaan määritellä sen ominaisuuksien perusteella. Itsepuhdistuvapinta tarkoittaa pintaa, jossa lika ei kiinnity ja pintaan kohdistuva vesi ei imeydy kokonaan alustaan. Itsepuhdistuvassa pinnassa myöskään mikrobi- ja sienikasvustoa ei pääse herkästi kiinnittymään ja kasvamaan julkisivulle, mikä saattaa suurina määrinä hidastaa rakenteen kuivumista. Koska kyseessä on kiviainesjulkisivulle suunnattu maali, täytyy maalin täyttää myös muita siihen tarkoitukseen vaadittavia ominaisuuksia, esimerkiksi kosteusteknisesti ajateltuna. Itsepuhdistavalla maalilla voidaan vähentää huomattavasti rakennuksen huoltokustannuksia ja samalla voi pidentää julkisivun ja rakenteiden ikää. [2, s. 16–17.]

2.1 Julkisivu

Rakennuksen julkisivun tehtävä on esteettisyyden ja arkkitehtuurin lisäksi suojata rakenteisiin kohdistuvia rasituksia. Julkisivu on rakennuksen näkyvin osa, joten siihen on käytettävä riittävästi suunnitteluun ja rahan liittyviä resursseja. Suomessa julkisivujen suunnittelu ja muuttaminen on luvanvaraista ja säädöksiä asetetaan vallitsevien ihanteiden ja yhteisesti hyväksyttävien normien mukaisesti. [3, s. 7–8.]

Suomessa julkisivut ovat kovalla rasituksella, ja niiden täytyy kestää ankaria sääolosuhteita ja niiden muutoksia. Rakennuksien julkisivuille on luokiteltu rasitusluokat, joissa otetaan huomioon eri säärasitusten yhteisvaikutuksia. Rasitusluokitus riippuu rakennuksen korkeudesta, sijainnista ja rakennuksen lämpötilasta (kylmä/lämmin). [2, s. 11.]

Julkisivun uloin ja näkyvin osa on usein sen pinnoite tai maali. Pinnoitteen tehtävänä on rakennusmateriaalin kanssa yhdessä suojata rakenteita erilaisilta fyysikaalisilta ilmiöiltä. Rakennuksien julkisivupinnoitteiden on oltava rakennusmateriaalien tapaan pitkäikäisiä, sekä helposti huollettavia tai uusittavia. Vääränlainen pinnoite voi pahimmillaan olla syynä koko rakenteen rikkoutumiseen. Pinnoite täytyy valita julkisivulle alustan, rakenteen ja rasituksen kanssa toimivaksi kokonaisuudeksi. Oikeanlaisen pintakäsittely-yhdistelmän valitsemiseen tarvitsee aina asiantuntemusta. [2, s. 2.]

Kiviainesjulkisivut ovat huokoista materiaalia, joten kosteuteen liittyvät seikat on otettava huomioon myös pinnoitetta valittaessa. Pinnoitteen tulee hengittää, kestää alustan ja ilmansaasteiden rasituksia, sekä olla helposti puhdistettava. Kun pintaan ei kiinnity likaa ja kosteus ei jää pinnan huokosiin suurissa määrin, julkisivun huoltokustannukset pysyvät maltillisina eikä huolto vaadi suurta työtä. Näillä keinoin pystytään pitämään rakennuksen julkisivun ja rakenteiden elinkaari pitkänä. [4, s. 605–606.]

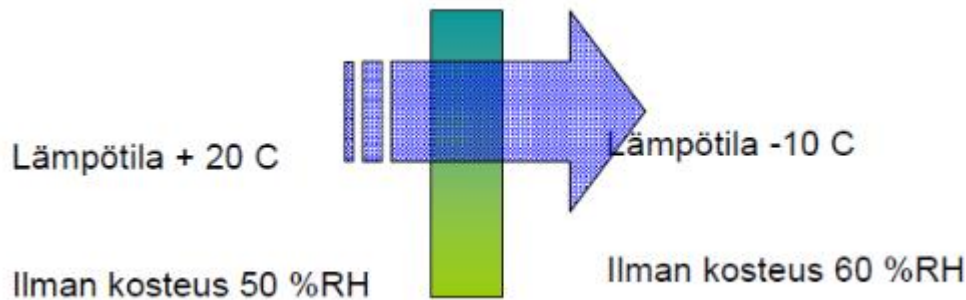
2.2 Kosteus

Kosteus on kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Huokoisessa materiaalissa, kuten kiviainepinnat, kosteus voi olla sitoutunutta, vapaata nestettä tai vesihöyryä. Kosteuden määrä materiaalissa riippuu materiaalin ominaisuuksista, ilman lämpötilasta ja ilman kosteudesta. Koska kiviainepinnoilla kosteutta esiintyy aina jonkin verran, rakenteiden täytyy olla huolellisesti suunniteltuja kosteusteknisesti. Pääperiaatteena on estää ulkoa tulevan kosteuden siirtyminen sisälle ja päästää sisältä tuleva kosteus ulkoilmaan. Kosteus liikkuu ja siirtyy rakenteissa eri tavoilla; tässä työssä olennaisimpia siirtymisen muotoja ovat diffuusio ja kapillaarinen liikkuminen. [5.]

2.2.1 Diffuusio

Huokoisessa aineessa kosteus voi siirtyä diffuusiolla. Diffuusio on kaasun pitoisuuserojen tasoittumista, jossa vesihöyrynpitoisuudet pyrkivät tasoittumaan suuremmasta pitoisuudesta pienempään (kuva 1). Diffuusiovirtaus on sitä suurempaa, mitä isommat erot pitoisuuksilla on. [5.]

Vesihöyrynläpäisevyys ilmoittaa vesihöyrynmäärän, joka läpäisee materiaalin diffuusion avulla. Kosteuspitoisuuden ja lämpötilan kasvu vaikuttavat vesihöyrynläpäisevyyden kasvuun. Materiaaleissa ja pinnoitteissa vesihöyrynläpäisevyyttä voidaan esittää myös vesihöyrynvastuksena, joka kuvaa materiaalin tai pinnoitteen kykyä vastustaa vesihöyrynsien tasaantumista. [6.]



Kuva 1. Pitoisuuserot aiheuttavat diffuusiota. Esimerkiksi rakennuksissa virtauksen suunta on lämpimästä kylmempää, sekä suhteellisen ilmakestuden erot vaikuttavat virtaukseen. Sisätiloissa absoluuttinen kosteus on kuitenkin suurempi, vaikka ilmakestus on pieni. [6.]

Kosteusongelmia esiintyy, jos vesihöyryä siirtyy diffuusiolla enemmän rakenteisiin, kuin sitä pääsee pois. Tämän johdosta rakennuksissa halutaan sisältä suuntautuva vesihöyry poistumaan ulkoilmaan, jolloin viimeisellä esteellä (julkisivupinnoite) tulee olla pieni vesihöyrynvastus. Pinnoitteissa pyritään pitämään vesihöyrynvastus pienenä myös sen johdosta, että kosteus ei kondensoituisi rakenteisiin. Diffuusion haittavaikutuksia ovat rakenteissa vesihöyryn kondensoituminen, joka estetään suunnittelemalla rakenteiden vesihöyrynvastukset niin, että ne pienenevät lämpimästä kylmään siirtyessä. Haittavaikutuksena voi olla myös ajan saatossa kasvanut rakenteiden sisäinen kosteuspitoisuus. Kosteuspitoisuus voi aiheutua diffuusion vaikutuksesta, jossa vesihöyryä siirtyy enemmän kuin poistuu rakenteesta, mutta ei se kuitenkaan kondensoidu vaan jää rakenteeseen. Kasvanut kosteuspitoisuus voi aiheuttaa home- ja sienimikrobien kasvua. [7, s. 11–12.]

2.2.2 Kapillaarinen siirtyminen

Julkisivupinnoite altistuu vedelle ja kosteudelle läpi vuoden, joten huokoinen kiviainesmateriaali on altis suurelle määrälle kosteutta. Kapillaarisessa siirtymisessä materiaali imee itseensä vettä huokosalipaineen (ilmanpaineen ja aineen huokosissa sitoutuneen veden paine-ero) vaikutuksesta, kun se on kosketuksissa vapaaseen veteen tai toisen kapillaarisesti kosteusalueella olevan materiaalin kanssa. Imuvoiman suuruus riippuu myös veden pintajännityksestä, ja pintajännitykseen vaikuttavat paine ja lämpötila. Maalin ja pinnoitteen tarkoitus on estää tai hidastaa nestemäisen veden kulkua rakenteisiin.

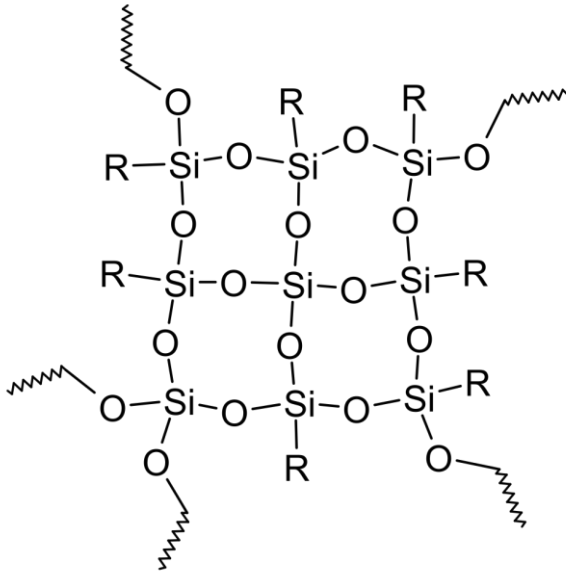
Kapillaarisen siirtymisen suuruuteen vaikuttaa myös julkisivun kunto ja pinnan halkeamien määrä. Tämän johdosta on tärkeää valita pinnoite, joka soveltuu alustaansa. [8.]

2.2.3 Hygroσκοoppisuus

Hygroσκοoppisuudella tarkoitetaan ilmasta suoraan materiaaliin sitoutunutta kosteutta. Materiaalin oma kosteuspitoisuus pyrkii tasapainoon ympäristön ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Hygroσκοoppisessa kosteustasapainotilassa materiaali ei enää sido kosteutta ilmasta tai luovuta sitä. Ilman ja materiaalin välisiä kosteustiloja kuvataan tasapainokosteuskäyrillä. Tasapainokosteuden saavuttamiseen vaikuttaa myös materiaalin vesihöyrynläpäisevyys. Jos ilman suhteellinen kosteus muuttuu nopeasti, hyvä vesihöyrynläpäisevyys auttaa materiaalia pysymään kosteustasapainossa paremmin. [5.]

2.3 Silikonihartsit

Silikonihartsia käytetään sideaineena esimerkiksi kiviainespinnoille tarkoitetuissa maaleissa. Silikonihartsit koostuvat siloksaani (pii-happi-ketju) -polymeereistä, jotka ovat muodoltaan kolmiulotteisia hiloja. Pii- ja hapen välinen sidos on vahva, joten ne ovat hyvin kestäviä yhdisteitä. Näihin polymeereihin voi olla yhdistyneenä myös alkyyliryhmiä, yleensä metyyliä. Silikonihartsin muodostama rakenne on esitetty kuvassa 2. [9, s. 3.]



Kuva 2. Silikonihartsin kaava, jossa näkee piin ja hapen väliset sidokset. R-merkintä ilmaisee alkyyliryhmää. [10.]

Silikonihartsia valmistetaan tuotannossa epäorgaanisista ja orgaanisista ainesosista. Maali kuivuu fysikaalisesti eli sideaine kuivuu ilman kemiallista reaktiota. Silikonihartsimaali sopii myös huoltomaalaukseen, sillä se kiinnittyy aikaisemmin dispersiomaalilla maalatulle alustalle, sekä orgaaniselle maalipinnalle. Silikonihartsit muodostavat kuivussa vettä hylkivää pintaa ja niiden vesihöyrynläpäisevyys on hyvä. [4, s. 612.]

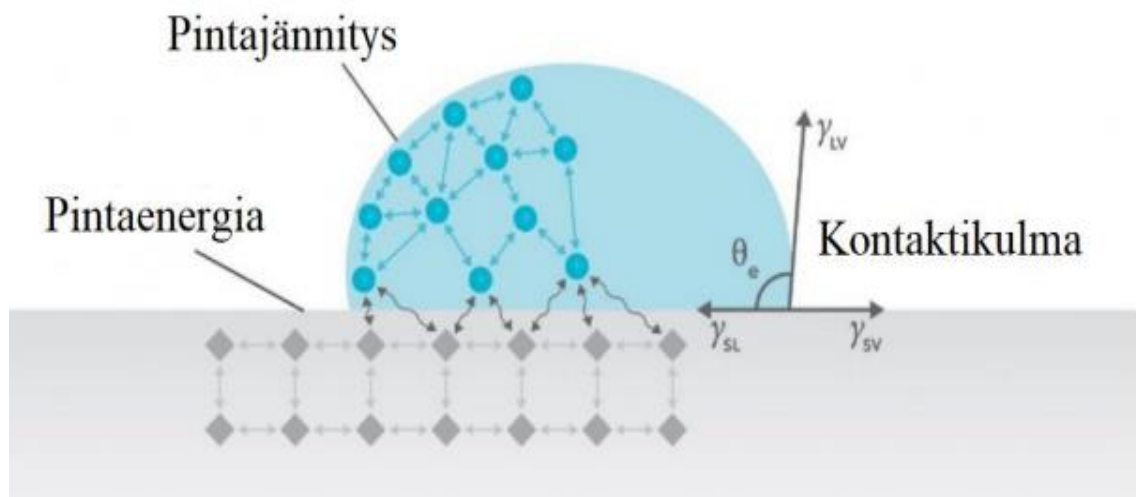
2.4 Pintajännitys

Puhuttaessa pintajännityksestä tarkastellaan usein neste-kaasurajapintojen välisiä rajapintoja. Pintajännitys on nesteen pyrkimystä vastustaa pinta-alan kasvamista [10]. Pintaenergiasta puhutaan yleensä, kun kyseessä on kiinteä pinta, mutta pintajännitys ja pintaenergia ovat matemaattisesti ajateltuna sama asia.

Nesteen pyrkimykseen pysyä muodossaan vaikuttavat sisäiset rakenneosat, jotka joutuvat tekemään enemmän työtä eli kuluttamaan energiaa, mitä isompi nesteen pinta-alan muutos on. Tämän takia neste pyrkii pysymään mahdollisimman pienessä pinta-alassa ja muuttumattomana. Nestepisaran muotoon vaikuttavat myös lämpötila ja muut voimat,

kuten painovoima. Pintajännitys on suure, ja se kuvaa energian suhdetta pinta-alaan kohden (yksikkönä käytetään J/m^2 tai N/m). [11.]

Maalien kohdalla pintajännitystä tarkastellaan kiinteä-neste-rajapinnalla, jolloin tapahtuu kostutusta (engl. wetting) eli nesteen kykyä levitä kiinteälle pinnalle. Kostutukseen vaikuttavat myös neste-kaasurajapinta ja kiinteä-kaasurajapinta. Maalien tulee kostuttaa alustaa hyvin, jotta maali saadaan levitettyä alustaan helposti. Hyvää maalin kostutusta tarvitaan myös, ettei alustan ja maalin väliin jää ilmataskuja, jolloin maalin tarttuvuus alustaan heikkenee ja syntyy ongelmia. Levitettävän nestemäisen maalin pintajännitys tulee olla alhainen, koska mitä suurempi maalin pintajännitys on, sitä heikommin maali kostuttaa alustaa. Pintaenergian, pintajännityksen ja kontaktikulman termejä esitelty kuvassa 3. [11.]



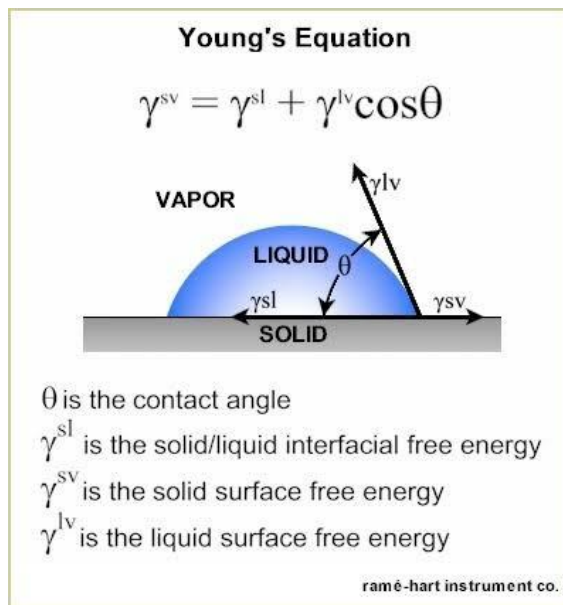
Kuva 3. Pintajännitys nestepisaran sisällä ja pintaenergian voimat kiinteällä alustalla, näistä saadaan kaasurajapinnan kanssa muodostettua Youngin yhtälö, joka kertoo kontaktikulman suuruuden. [12.]

Itsepuhdistuvuuden kannalta tarkastellaan pintaenergian suuruutta kuivuneen maalin pinnalla eli kiinteä-kaasurajapinnalla. Kuivuneen maalipinnan tulee olla ominaisuuksiltaan hydrofobinen, jolloin pinnalle osuva nestepisara ei leviä ja ala kostuttamaan alustaa, vaan säilyttää pisaran muotonsa ja vierii pois vieden likaa mukana.

2.5 Hydrofobisuus

Jotta pinta olisi hydrofobinen, sen pinnan pintaenergian on oltava pieni ja sen mikro- ja nanorakenteen karkea. Pinnan hydrofobisuutta tai hydrofiilisuutta kuvataan siihen osuvan nestepisaran kontaktikulmalla. Nestepisaran kontaktikulman ollessa suurempi kuin 90° pinta on hydrofobinen, ja jos kulma on suurempi kuin 150° pinta määritellään superhydrofobiseksi. Kun kontaktikulma on $\leq 90^\circ$, pinta on hydrofiilinen. Hydrofobisen pinnan maalille saa modifioimalla maalin kemiallisia aineita ja pinta-aktiivisia aineita, mutta saavuttaakseen superhydrofobisen pinnan täytyy ottaa huomioon myös pinnanprofiili. [13, s. 4–9.]

Youngin yhtälöllä lasketaan nestepisaran kontaktikulma, jonka tuloksesta saadaan tietoon pinnan hydrofobisuus tai hydrofiilisuus. Kontaktikulmaan vaikuttavat kolmen eri rajapintojen väliset pintaenergiat ja Youngin kontaktikulma θ . Näillä parametreilla saadaan yhtälöstä laskettua nestepisaran kontaktikulma. Kuvassa 4 on esitetty yhtälö, sekä nestepisaran kontaktikulmaan vaikuttavat rajapinnat. [11.]

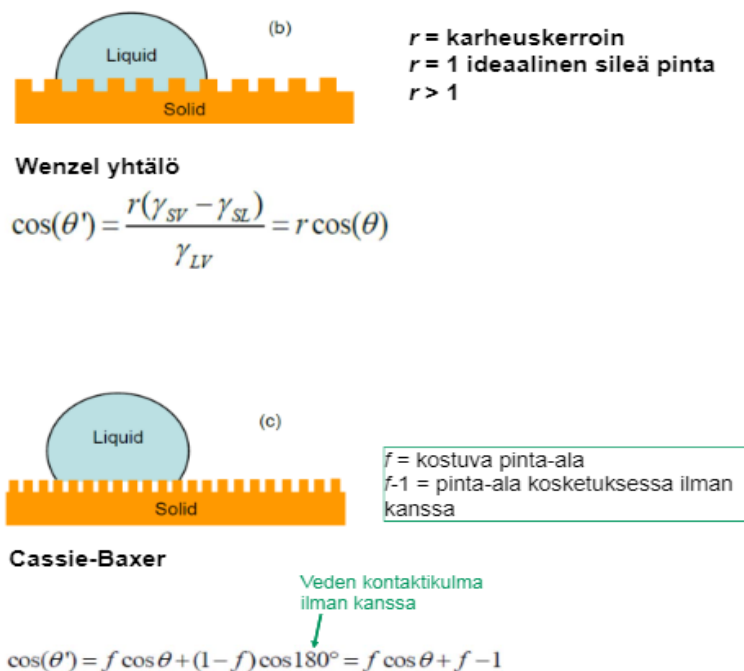


Kuva 4. Youngin yhtälön parametrit ja kaava. [14.]

Koska mitattavat pinnat harvoin ovat "ideaaleja", täytyy tuloksissa ottaa huomioon pinnan karheus. Tässä työssä kontaktikulma mitataan dynaamisesti, jolloin tarkastellaan nestepisaran muutosta ajan suhteen pinnalla. [12, s. 5–6.]

Youngin yhtälö ottaa huomioon vain tasaisen ja ideaalin pinnanprofiilin, mutta Wenzelin yhtälössä kuvataan pinnankarheuden vaikutusta pisaran kontaktikulmaan. Yhtälössä tarkastellaan tilannetta, jossa nestepisara tunkeutuu alustan pieniin ilmataskuihin. Yhtälön avulla on todettu pinnankarheuden vaikuttavan kontaktikulman suuruuteen merkittävästi. Valmiiksi hydrofobinen pinta on enemmän hydrofobinen ja valmiiksi hydrofiilinen pinta on sitä enemmän hydrofiilinen, mitä suurempi pinnankarheuskerroin on. [15.]

Cassie-Baxerin yhtälössä tarkastellaan superhydrofobista pintaa ja miten nesteen kontaktikulmaan vaikuttaa nestepisaran ja alustan kontaktipinta-ala. Karkeassa pinnanprofiilissa mikro- ja nanotason kumpareet mahdollistavat sen, ettei nestepisara pääse koskuttamaan alustaa. Kun nestepisara ei pääse kosketuksiin pinnan kumpareiden syvimpiin kohtiin, muodostuu ilmataskuja pisaran alle. [15.] Alustan ja pisaran välinen pinta-ala tulee tällöin olla 2–3 % pisaran pinnasta [13, s. 4.] Kuvassa 5 on esitetty molemmat yhtälöt, sekä pinnan karheuden merkitys.



Kuva 5. Wenzelin ja Cassie-Baxterin yhtälöt, sekä havainnollistavat kuvat. [15.]

Karheen profiilin ansiosta alustalla olevien likapartikkelien ja pinnan väliin jää myös ilmataskuja, jotka vähentävät lian tarttumista, ja näin ollen lika huuhtoutuu helposti pois nesteen mukana. Haluttaessa superhydrofobisen pinnan täytyy siis ottaa huomioon pintaenergian suuruus ja pinnan mikro- ja nanoprofiilien karkeus. [15.]

3 Työssä tutkittavat maalit

Työhön valikoitiin neljältä eri valmistajalta julkisivumaalit, jotka soveltuvat kiviainesjulkisivupinnoille. Näitä tuotteita myydään vettä hylkivänä, itsepuhdistuvana tai hyvin puhtaana pysyvinä maaleina. Kaikki tuotteet olivat silikonihartsipohjaisia, ja ne oli hankittu valmistajien jälleenmyyntipisteistä.

3.1 StoColor Lotusan®

StoColor Lotusan® on mineraalisille ja orgaanisille alustoille suunnattu julkisivumaali. Tuote on valmistettu Lotus-Effect® Technologyllä. Maalilla on erityinen vettä ja likaa hylkivä pinta. Julkisivun pinnalle kulkeutunut lika huuhtoutuu pois sateen mukana ja suojaa pintaa levä- ja/tai homesienikasvustolta, ilman biosidisuojaa. [16.]

3.2 Weber Aquaclean

Weber Aquaclean on vesiohenteinen, alkalinkestävä, vettähylkivä silikoniemulsiomaali julkisivuille. Maalattu pinta on hydrofobinen, minkä ansiosta pinta hylkii likaa ja kuivuu nopeasti sateen jälkeen. [17.]

3.3 Fescon Silikonihartsimaali

Fescon Silikonihartsimaali on vesiohenteinen julkisivumaali kiviainespinnoille. Maali takaa hyvän suojan sateelta ja sään muilta vaikutuksilta vastaan. Tuote on tehokkaasti likaa- ja vettähylkivä, joka ei muodosta kalvomaista pintaa. [18.]

3.4 Tikkurila Finngard Clean

Finngard Clean on silikonihartsipohjainen vesiohenteinen maali. Superhydrofobisen pintansa ansiosta maali hylkii likaa ja vettä. Lopullinen tuote pitää rakenteen puhtaana ja kuivana. [19.]

4 Suoritettavat kokeet

4.1 Vesihöyrynläpäisevyys

Vesihöyrynläpäisevyyskoe suoritettiin standardin SFS-EN ISO 7783:2018 mukaisesti märkäkuppimenetelmällä, jossa näytekuppiin luodaan ammoniumfosfaattiliuoksella ilman suhteelliseksi kosteudeksi 93 % ja mitataan liuoksen haihtumista maalipinnan ja alustan läpi. [20]. Koska applikointipahvi itsessään päästää myös vesihöyryä läpi, samanlainen testi tehtiin referenssikappaleelle, jossa pahvikiekko oli ilman pinnoitetta. Referenssin avulla saadaan määriteltyä applikointipahvin vesihöyrynläpäisevyys ja se otetaan huomioon laskuissa. Näytekupit olivat alumiinisia kuppeja, jotka tiivistettiin silikonimassalla (kuva 6).



Kuva 6. Vesihöyrynläpäisevyystestin näytekupit ja koekappaleet valmiina ja tiivistettyinä.

Koekappaleet maalattiin standardin vaatimissa olosuhteissa ja kaikki tuotteet maalattiin samana päivänä samoissa olosuhteissa. Maalituotteet avattiin maalauspäivänä ja sekoitettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Testattavalle pinnalle maalattiin kaksi maalikalvoa telaa käyttäen. Kuivuminen tapahtui samoissa olosuhteissa jokaisella maalituotteella. Maalatut kappaleet kuivuivat ennen kokeen suorittamista 26 vuorokautta.

Maalatun alustan kuivuttua siitä leikattiin näytekuppiin sopiva kiekko. Jokaisesta tuotteesta valmistettiin kolme vertailunäytettä. Näytekupit punnittiin tietyin väliajoin ja seurattiin massan muutosta, kunnes se oli lineaarista. Saaduista tuloksista laskettiin vesihöyrynläpäisevyyden s_d -arvo, joka ilmoitetaan metreinä (m). Standardissa SFS-EN 1062-1 on esitetty luokat vesihöyrynläpäisevyyden arvoille, luokittelu esitetty taulukossa 1 [21].

Taulukko 1. Vesihöyrynläpäisevyyden viitearvot standardin mukaisesti.

Luokka		Vaatus	
		$g/(m^2 \cdot d)$	m^a
V_0		Ei vaatimusta	
V_1	Suuri	> 150	$< 0,14$
V_2	Keskisuuri	≤ 150 > 15	$\geq 0,14$ $< 1,4$
V_3	Pieni	≤ 15	$\geq 1,4$
^a Ilman diffuusioekvivalenttipaksuuden (S_d) arvot standardin EN ISO 7783-2 mukaisesti			

HUOM. Tätä ominaisuutta käytetään, kun arvioidaan pinnoiteyhdistelmän vaikutusta alustan kosteuskäyttäytymiseen.

Haluttu arvo julkisivumaaleilla sijoittuu luokkaan V_1 , jossa vesihöyrynläpäisevyyden arvo on pienempi kuin 0,14 m.

Mittaustulosten kohdalla pitää huomioida hieman epävarmuutta tiiveyden pitävyydestä. Suurimmaksi osaksi liuos oli säilynyt näytekupissa, eikä kristallisoitunut, mutta osassa näytekupin liuos oli kuivunut ja kristallisoitunut. Näytekupit, joista liuosta oli kuivunut, olivat kahdessa Tikkurilan tuotteen kupissa ja yhdessä Fesconin tuotteen kupissa.

4.2 Vedenläpäisevyys

Vedenläpäisevyys, jota voidaan kutsua myös vedenabsorptioksi, on veden kulkeutuminen rakenteeseen ja tämän työn tapauksessa imeytymistä huokoiseen materiaaliin. Vedenläpäisevyudessa testataan tilannetta, jossa kosteus on nestemäisenä vetenä ja yhtenäisenä verkkona koko ajan pinnan kosketuksissa. Vedenläpäisevyyttä testattiin standardin SFS EN 1062–3:2008 mukaisesti ja alustana käytettiin kalkkiahiekkatiiliä [22]. Standardissa SFS-EN 1062-1 esitetään luokitus vedenläpäisevyyden arvoille ja se on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Vedenläpäisevyyden luokitus standardin mukaisesti.

Luokka		Vaatus kg/(m ² · h ^{0,5})
W ₀		Ei vaatimusta
W ₁	Suuri	> 0,5
W ₂	Keskisuuri	≤ 0,5 > 0,1
W ₃	Pieni	≤ 0,1

HUOM. Tätä ominaisuutta käytetään arvioitaessa pinnoiteyhdistelmän vaikutusta vedenläpäisyyn.

Haluttu arvo vedenläpäisevyudessa on luokka W₃, jolloin maali päästäisi vain vähän vettä lävitsensä.

Kappaleisiin maalattiin kaksi maalikalvoa telaa käyttäen. Tiilen leveämpi sivu maalattiin ensimmäiseksi testattavalla maalituotteella. Tämän jälkeen tiilen muut sivut maalattiin 2-komponenttisella epoksimaalilla, jotta tiilen muut reunat ovat tiiviitä, eivätkä vaikuta testin tuloksiin. 2-komponenttinen epoksi maalattiin testattavan maalipinnan päälle n. 5 mm:n leveydeltä, tiiveyden varmistamiseksi. Jokaisesta maalituotteesta tehtiin kolme vertailunäytettä. Testattavat koekappaleet kuivuivat samoissa olosuhteissa 39 vuorokautta ennen kokeen alkua.

Kappaleiden massat punnittiin ennen vesialtaaseen laittoa ja ne punnittiin uudestaan oltuaan 24 tuntia vesialtaassa (kuva 7). Altaissa ollut vesi oli huoneenlämpöistä. Maalien vedenläpäisevyysarvo (w_{24}) ilmoitetaan yksikössä kg/(m² · h^{0,5}). Arvo kuvastaa massan muutosta vuorokauden aikana.

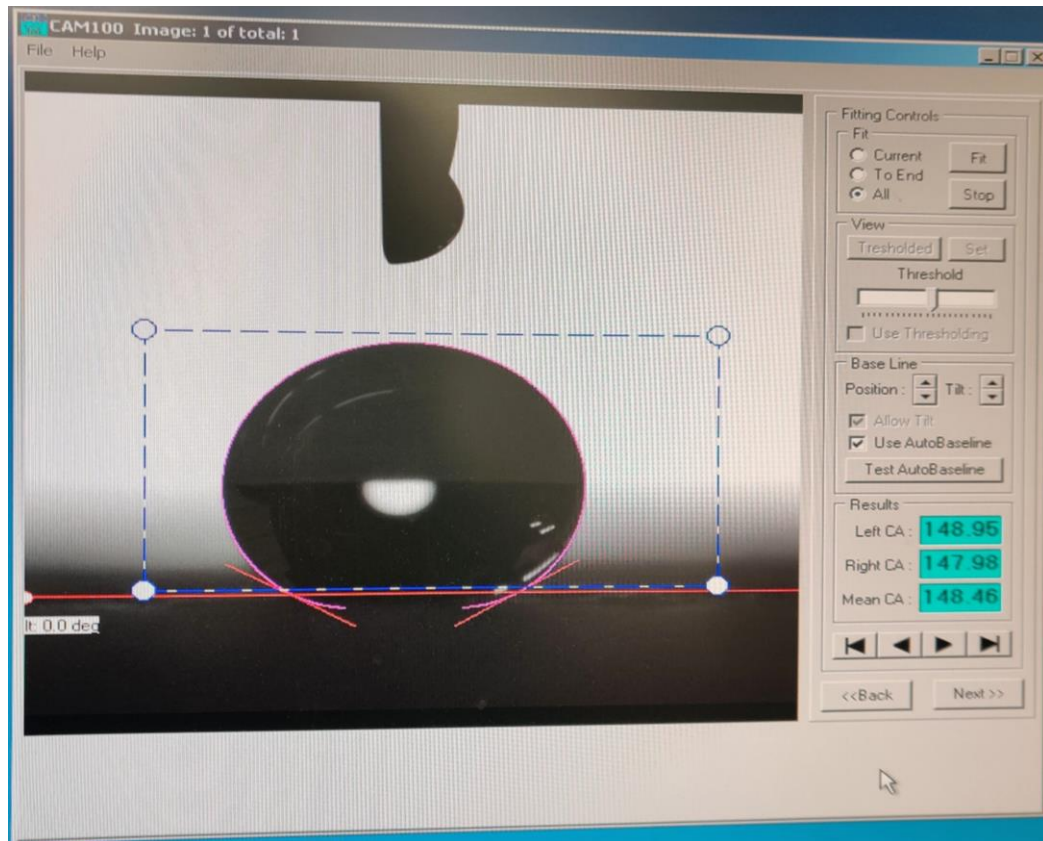


Kuva 7. Kalkkihiekkatiilet vesialtaissa.

Testin jälkeen huomattiin osassa kappaleita hieman puutteellinen maalikalvo tiivistävällä epoksilla, joten se on voinut osittain vaikuttaa tuloksiin. Heikkoa maalikalvoa huomattiin kaikkien tuotteiden ainakin yksissä tiilissä.

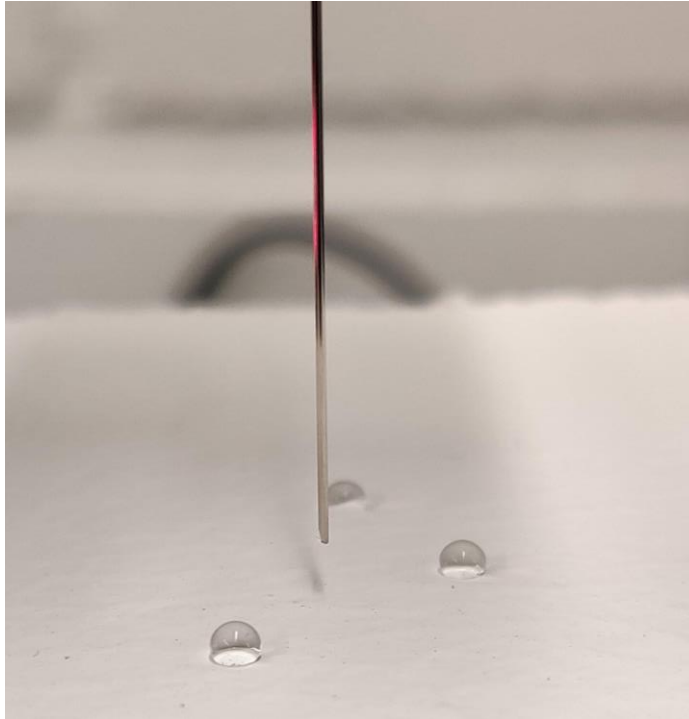
4.3 Kontaktikulma

Kontaktikulmamittauksessa määritellään nestepisaran kulma maalatulla pinnalla. Kulman suuruus määrittää pinnan hydrofobisuuden tai hydrofiilisyyden. Koska maalipinta on absorboiva pinta, mitattiin kulman suuruutta ajan funktiona. Jokainen testattava tuote mitattiin samoilla asetuksilla laitteistossa ja samana päivänä, sekä samoissa olosuhteissa. Kontaktikulmamittauksessa käytettiin Metropolia Ammattikorkeakoululla olevaa KSV Instrument CAM 101 -jännitysmittauslaitetta, kuvassa 8 on esimerkkikuva laitteiston antamasta mittausnäkökuvasta.



Kuva 8. Esimerkkikuva mittauslaitteiston näelmästä, joka laskee pisaran kontaktikulmat.

Mittaus suoritettiin standardin SFS-EN ISO 19403–2:2020 mukaisesti [23]. Mittauslaite kalibroitiin ennen kokeiden alkua valmistajan ohjeiden mukaisesti. Koekappaleisiin maalattiin kaksi kalvoa testattavalla tuotteella telaa käyttäen. Kappaleet kuivuivat 53 päivää ennen kokeen alkua, jotta maalipinnat ehtivät kovettua ja saavuttaa lopulliset pinnan ominaisuudet. Testattava pinta-ala jokaisella kappaleella oli 10 cm². Kuvassa 9 on esitetty annostelija, josta annosteltiin neste koepinnalle.



Kuva 9. Neste annosteltiin ohuesta neulasta testattavalle pinnalle.

Pintaan annosteltiin ionisoitua vettä annostelijasta ja välittömästi pisaran laskeuduttua pintaan aloitettiin mittaamaan pisaran kontaktikulman muutosta noin 6 sekunnin ajalta. Samasta kappaleesta mitattiin kolme tulosta eri kohdista koepintaa. Mittalaite laski kontaktikulman pisaran oikeasta ja vasemmasta reunasta, sekä näiden tulosten keskiarvon. Keskiarvollinen tulos on se, mihin kaikkia tuloksia verrataan keskenään. Ohjelma antoi raportissa myös muita parametrejä.

4.4 Visuaalinen tarkastelu

Toimeksiantajan pyynnöstä suoritettiin koekappaleille myös visuaaliset testit. Näytekappaleisiin hierottiin katupölyä ja hiekkaa, minkä jälkeen sumutepullolla suihkutettiin likaa pois. Visuaalinen testi on täysin silmillä tarkasteltava ominaisuus maalipinnalla ja on enemmän havainnollistava koe.

Koekappaleet maalattiin samoissa olosuhteissa telalla, ja ne kuivuivat samoissa olosuhteissa. Kappaleet kuivuivat 53 päivää ennen kokeiden suoritusta, jotta haluttu ominaisuus olisi muodostunut pinnalle. Koekappaleisiin hierottiin hiekkaa ja pölyä ja pystypinnalle suihkutettiin vettä, minkä jälkeen tarkasteltiin ja vertailtiin silmämääräisesti tuloksia. Visuaalisen tarkastelun painoarvo lopullisessa vertailussa on erittäin pieni, koska on vaikea sen perusteella määritellä kunkin maalin paremmuutta. Kaikki testattavat maalit silmämääräisesti näyttivät toimivan yhtä hyvin, pieniä eroja lukuun ottamatta.

5 Tulokset

Kaikista suunnitelluista kokeista saatiin tulokset. Standardien mukaisesti kustakin kokeesta tehtiin 3 vertailunäytettä, joiden tulosten keskiarvojen mukaan suoritetaan vertailu tuotteiden kesken. Kaikki kontaktikulmakokeen tulokset on esitetty liitteessä 1 ja liitteessä 2 on esitetty vesihöyrynläpäisevyyskokeen kaikki tulokset.

5.1 Vesihöyrynläpäisevyys

Vesihöyrynläpäisevyyskokeessa näytekuppien massa punnittiin tietyn väliajoin ja punnitus lopetettiin, kun muutos oli lineaarista. Punnitustulosten avulla laskettiin standardin mukaisesti vesihöyrynläpäisevyys metreissä (S_d). Myös referenssikappaleen läpäisevyys laskettiin ja se tulos otettiin huomioon laskuissa, jolloin saatiin otettua huomioon pahvin vesihöyrynläpäisevyys. Taulukossa 3 esitetään standardin mukaan lasketut arvot saaduille tuloksille.

Taulukko 3. Vesihöyrynläpäisevyyks kokeen lasketut tulokset.

Tuote	V _{cs}	V _s	S _d (m)
Lo1	447.67		0.01
Lo2	478.58		0.004
Lo3	472.96		0.005
Ti1	141.42		0.11
Ti2	132.99		0.11
Ti3	128.31		0.12
We1	232.26		0.05
We2	223.84		0.05
We3	237.88		0.05
Fes1	372.75		0.02
Fes2	362.44		0.02
Fes3	373.68		0.02
Ref.		530.09	

Taulukossa 3 V_{cs} -arvo on pinnoitteen ja alustan vesihöyrynläpäisy nopeus, sekä V_s on pelkän alustan vesihöyrynläpäisy nopeus. V-arvojen perusteella laskettiin vesihöyrynläpäisevyys metreissä, joka on taulukon viimeinen sarake S_d (m). Taulukossa 4 on esitetty lopulliset keskiarvotulokset, joiden perusteella tehdään vertailu.

Taulukko 4. Keskiarvot laskettuna saaduille tuloksille.

Tuote	ka S _d (m)
Sto	0,01
Tikkurila	0,11
Weber	0,05
Fescon	0,02

Kaikki tuotteet sijoittuvat standardin luokituksessa luokkaan V₁, joka on luokitukseltaan suuri ja johon kaikki tuotteiden valmistajat ovat ilmoittaneet tuotteidensa sijoittuvan.

5.2 Vedenläpäisevyys

Vedenläpäisevyys kokeessa alustana käytettiin kalkkihiekkatiiliä, joiden mitat olivat 12,90 x 26,90 x 7,5 cm. Maalattun alueen pinta-alasta on poistettu 5 mm kummaltakin sivulta, koska epoksi tuotiin tämän verran yli maalatulle pinnalle, jotta se tiivisti koko tiilen. Kokeessa tiilet punnittiin vaa'alla ennen niiden asettamista vesialtaisiin. Veden lämpötila altaissa oli 23 °C. Tiilet eivät koskettaneet toisiaan kokeen aikana. Tiilien annettiin olla 24 h altaissa, minkä jälkeen ne nostettiin ja hieman kuivattiin pintaa ja punnittiin uudestaan. Samaa vaakaa käytettiin molemmissa punnituksissa. Massan muutoksesta laskettiin maalin vedenläpäisevyysarvo w_{24} . Taulukossa 5 on kaikkien tuotteiden punnitukset.

Taulukko 5. Vedenläpäisevyys kokeiden punnitut massat.

Tuote	m_a 16.4	ka per tuote
Lo_1	4.020	4.018
Finn_1	4.185	4.010
We_1	4.165	3.953
Fesc_1	3.970	3.940
Lo_2	3.985	
Finn_2	3.950	
We_2	3.820	
Fesc_2	3.975	
Lo_3	4.050	
Finn_3	3.895	
We_3	3.875	
Fesc_3	3.875	
Tuote	m_24 17.4	ka per tuote
Lo_1	4.075	4.050
Finn_1	4.220	4.040
We_1	4.200	3.990
Fesc_1	4.055	4.022
Lo_2	4.010	
Finn_2	3.980	
We_2	3.855	
Fesc_2	4.055	
Lo_3	4.065	
Finn_3	3.920	
We_3	3.915	
Fesc_3	3.955	

Taulukossa 5 esitetään ensimmäisenä ennen vesialtisiin asetettujen kalkkihiekkatiilien punnitut massat, sekä niiden keskiarvolliset tulokset. Jälkimmäisessä taulukossa esitetään 24 tunnin jälkeen punnitut massat ja niiden keskiarvot. Jokaisesta tuotteesta tehtiin kolme vertailunäytettä, ja samassa erässä olleet tiilet olivat samoissa altaissa. Taulukossa 6 on esitetty tulokset vedenläpäisevyydelle.

Taulukko 6. Vedenläpäisevyyden tulokset.

Tuote	ka w_{24}
Sto	0,2
Tikkurila	0,2
Weber	0,2
Fescon	0,5

Lopullinen tulos laskettiin massan muutoksesta, ajasta ja maalatun osan pinta-alasta. Kaikki tuotteet sijoituivat standardin luokkaan W_2 , keskisuuri. Valmistajat ovat ilmoittaneet tuotteidensa sijoittuvan luokkaan W_3 , pieni.

5.3 Kontaktikulma

Kontaktikulmamittauksessa mitattiin vesipisaran kulmaa testattavalla pinnalla. Pintaan annosteltiin kolme eri pisaraa ja niistä mitattiin tulokset. Kontaktikulman muutosta mitattiin n. 6 sekunnin ajalta. Taulukossa 7 on esitetty kaikkien tuotteiden keskiarvo tulokset.

Taulukko 7. Kontaktikulmamittausten tulokset. Keltaisella näkyy keskiarvotulos mittauksesta.

FESC 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	125.42	125.72	125.57
Min	115.52	116.47	115.99
Max	136.24	137.04	136.64
Range	20.72	20.58	20.65
Stdev	6.43	6.68	6.55
FESC 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	111.25	111.45	111.35
Min	100.40	99.88	100.14
Max	124.23	124.99	124.61
Range	23.84	25.11	24.47
Stdev	7.29	7.64	7.47
FESC 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	132.72	130.89	131.81
Min	120.86	117.70	119.28
Max	149.97	147.99	148.98
Range	29.11	30.29	29.70
Stdev	8.91	8.89	8.89

Sto 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	149.51	149.17	149.34
Min	148.10	147.33	147.71
Max	156.83	169.02	162.92
Range	8.73	21.69	15.21
Stdev	1.79	4.69	3.22
Sto 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	140.89	140.95	140.92
Min	147.02	146.36	146.71
Max	150.47	150.25	150.36
Range	3.45	3.89	3.65
Stdev	1.01	1.06	1.02
Sto 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	133.39	132.90	133.14
Min	132.12	131.84	132.00
Max	134.77	134.10	134.43
Range	2.65	2.23	2.44
Stdev	0.84	0.73	0.78

Tikkurila 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	118.13	118.77	118.45
Min	115.53	115.82	115.67
Max	121.26	122.58	121.92
Range	5.73	6.76	6.24
Stdev	1.82	2.17	2.00
Tikkurila 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	123.62	124.06	123.84
Min	120.39	121.19	120.79
Max	127.29	127.48	127.38
Range	6.90	6.28	6.59
Stdev	2.11	1.83	1.97
Tikkurila 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	121.88	120.27	121.08
Min	119.04	118.60	118.82
Max	125.13	123.01	124.07
Range	6.09	4.41	5.25
Stdev	1.85	1.35	1.59

Weber 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	134.68	135.17	134.92
Min	134.31	134.95	134.73
Max	134.94	135.40	135.15
Range	0.63	0.45	0.42
Stdev	0.16	0.13	0.11
Weber 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	137.85	137.42	137.64
Min	137.57	137.18	137.40
Max	138.17	137.75	137.92
Range	0.60	0.57	0.52
Stdev	0.18	0.15	0.14
Weber 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
Average	139.56	139.64	139.60
Min	139.15	139.18	139.27
Max	139.98	140.03	139.89
Range	0.82	0.84	0.62
Stdev	0.21	0.21	0.19

Pinta on hydrofobinen, kun kontaktikulma on $>90^\circ$ ja superhydrofobinen, kun kulma on yli 150° . Kaikki tuotteet olivat hydrofobisia, mutta yksikään ei ollut superhydrofobinen.

Lähimpänä 150°:n kulmaa oli Ston tuote 149°:n tuloksella. Keskiarvot saaduista tuloksista on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Keskiarvotulokset kontaktikulmalle.

Tuote	ka θ
Sto	141,13
Tikkurila	121,12
Weber	137,39
Fescon	122,91

Tuloksista voidaan myös tarkastella keskihajonnan (Stdev) arvoa, joka kertoo pisaran muodossa pysymisen 6 sekunnin ajan. Jos hajonta on pieni, pisara on pitänyt muotoansa eikä ole levinnyt suuresti ja alkanut kostuttaa alustaa. Tällä tuloksella voidaan olettaa olevan suuri merkitys itsepuhdistuvuudessa, eli miten pisara käyttäytyy, kun se osuu pinnalle. Jos pisara alkaa melkein heti levitä osuttuaan pinnalle, se ei käyttäydy hydrofobisen pinnan vaatimin tavoin. Keskihajontatuloksien keskiarvot on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Keskihajonnan keskiarvo tulokset.

Tuote	Stdev
Sto	1,67
Tikkurila	1,85
Weber	0,15
Fescon	7,64

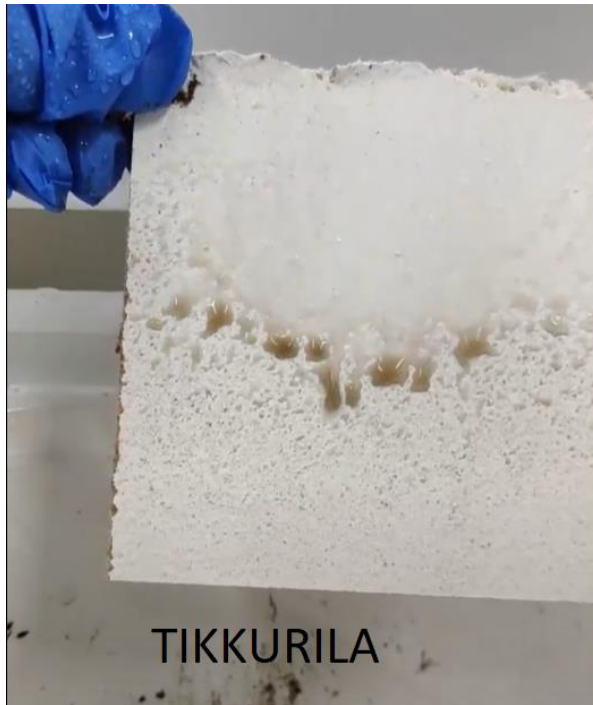
Keskihajonnan tulokset lisätään vertailu taulukkoon, sillä niiden merkitys itsepuhdistuvalle pinnalle on iso. Selkeästi parhaiten muotonsa piti Weberin tuote, joka erottui tuloksissa eniten. Ston ja Tikkurilan tuotteet olivat hyvin lähellä toisiaan ja Fesconin tuote sijoittui selkeästi viimeiseksi. Fesconin tuotteen kohdalla pisaran leviämisen huomasi myös silmämääräisesti.

5.4 Visuaalinen tarkastelu

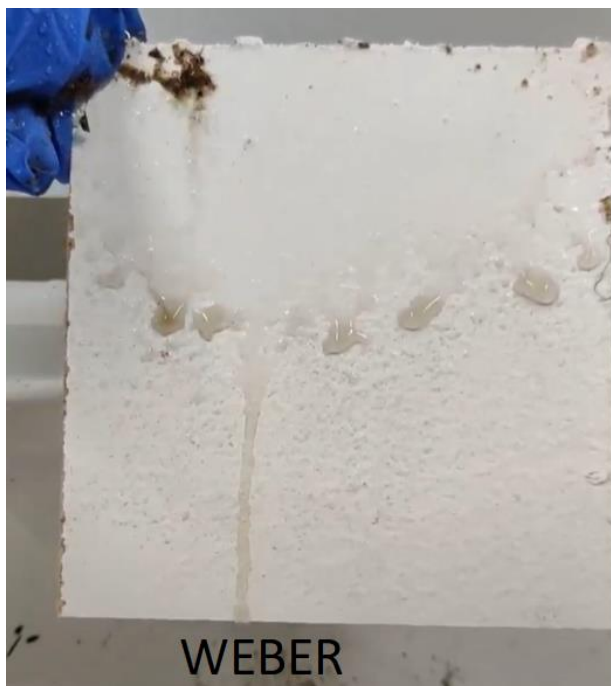
Visuaalisessa kokeessa kappaleet liattiin pölyllä, minkä jälkeen sitä suihkutettiin suihkepullolla pois. Kappaleet pidettiin pystyasennossa, havainnollistaen miten lika huuhtoutuu julkisivun kaltaiselta pystypinnalta. Kaikkiin pintoihin pyrittiin mahdollisimman samankaltaisesti suihkuttamaan vettä. Kuvissa 10–13 on esitetty kuvat visuaalisen tarkastelun tuloksista.



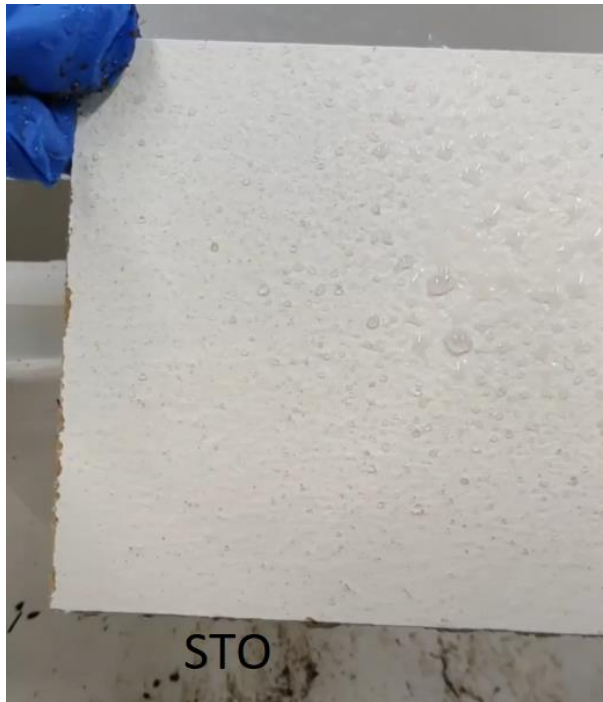
Kuva 10. Fesconin tuotteen visuaalinen koe.



Kuva 11. Tikkurilan tuotteen visuaalinen koe.



Kuva 12. Weberin tuotteen visuaalinen koe.



Kuva 13. Ston tuotteen visuaalinen koe.

Kaikki tuotteet poistivat lian alustalta. Ston, Weberin ja Tikkurilan tuotteista näkyy hieman selkeämmin pisaroiden muodostuminen pinnalla.

6 Tulosten analysointi

Työssä tehdyt kokeet valittiin sen perusteella, kuinka niiden tuloksia voitaisiin vertailla itsepuhdistuvuuden kannalta, mutta lisäksi maalien täytyy täyttää julkisivumaalin vaatimia ominaisuuksia. Työssä tehtävien kokeiden arvoja tai luokituksia oli maalinvalmistajien tuotteiden tuoteselosteissa mainittu, joten niihin voitiin verrata myös tämän työn tuloksia. Kuitenkin työn tarkoituksena on verrata tuotteiden ominaisuuksia keskenään ja tehdä niiden perusteella vertailu.

Vesihöyrynläpäisevyyskokeessa kaikki tuotteet ylsivät haluttuun luokkaan V₁. Isoin ero oli Tikkurilan tuotteessa, mutta tämän tuotteen kohdalla oli eniten epävarmuutta tiiveyden pitävyydestä kokeen aikana. Tästä epävarmuudesta huolimatta pysyttiin standardin vaatimissa luokitusrajoissa.

Vedenläpäisevyys kokeessa kaikki tuotteet sijoituivat luokkaan W_2 . Haluttu luokitus olisi ollut W_3 , mutta näissä kokeissa havaittiin useamassa tiilessä hieman tiivistävän epoksin puutetta. Tiiveyden puute voi vaikuttaa tuloksiin, koska vedenläpäisevyudessa pienetkin muutokset voivat vaikuttaa suuresti tuloksiin. Verrattaessa tuloksia keskenään isoin ero oli Fesconin ja muiden tuotteiden välillä.

Kontaktikulmakokeessa kaikki tuotteet ylsivät määritelmään olla hydrofobisia pintoja. Kuitenkin vain Ston tuote oli lähellä superhydrofobista pintaa, ja tämä olisi itsepuhdistuvuuden kannalta iso asia. Sto ja Weber olivat tuloksiltaan samassa suuruusluokassa kontaktikulma kokeessa. Tikkurila ja Fescon eivät yltäneet ihan näihin tuloksiin, mutta olivat keskenään samoilla kulman suuruusluokilla. Myös keskihajonta kertoi paljon näiden tuotteiden erosta, kuinka suuresti pisara alkoi leviämään heti pintaan osuttuaan, kun haluttaisiin sen pysyvän muodossaan. Ston, Weberin ja Tikkurilan tuotteilla pisara pysyi hyvin muodossa, kun taas Fesconin tuotteella pisara alkoi lähes heti levitä. Keskihajonnan merkityksen johdosta se otettiin mukaan vertailuun.

Visuaalisessa tarkastelussa erojen huomaaminen oli hankalampaa, johtuen silmämääräisestä vertailusta. Tähän vaikutti myös suihkutettavan veden määrä ja voima, vaikka nämä pyrittiin pitämään mahdollisimman samanlaisina. Hieman tarkastelussa erottuivat edukseen Ston ja Weberin tuotteet. Voidaan todeta, että tässä tarkastelussa kontaktikulman suuruudella on merkitys, joten siinä suhteessa tulokset ovat keskenään oikeassa. Kuitenkin kaikkien tuotteiden pinnoilta lika poistui.

6.1 Vertailu

Vertailu suoritettiin tuotteiden kesken ja pääpaino on itsepuhdistuvuudessa. Kaikki tuotteet täyttivät hyvät kiviainesjulkisivumaalin vaatimat ominaisuudet. Vertailussa annettiin kerroin arvo sen perusteella, miten ominaisuus vaikuttaa eniten hyvän itsepuhdistuvuuden kannalta. Tuotteet listattiin paremmuusjärjestykseen 1–4, josta neljä oli paras sijoitus. Jokaisesta tehdystä kokeesta merkittiin järjestys ja näihin sijoituksiin lisättiin kertomet. Kaikkien kokeiden pisteet laskettiin yhteen ja summan perusteella tuotteet listattiin paremmuusjärjestykseen.

Isoimman kertoimen sai kontaktikulma, sillä sen suuruudella on isoin vaikutus itsepuhdistuvuuteen, miten pisarat osuvat pintaan ja kulkeutuvat pois alustalta. Toiseksi suurimman kertoimen sai keskihajonta, sillä se kertoo kontaktikulman lisäksi pisaran muodossa pysymisestä. Kolmanneksi isoimman kertoimen sai vesihöyrynläpäisevyys, koska sillä on suuri vaikutus rakennuksen hengittävyden kannalta ja kosteuden hallinnassa. Neljänneksi isoimman kertoimen sai vedenläpäisevyys, joka liittyy vahvasti myös kosteuden ja veden hallintaan rakennuksissa. Pienimmän kertoimen sai visuaalinen tarkastelu, sillä sen tulos ei perustunut laskennalliseen tulokseen vaan puhtaasti silmämääräiseen tarkasteluun. Visuaalinen koe antoi suuntaviivaa siihen, miten vesi käyttäytyy pystysuoralla pinnalla. Taulukossa 10 on esitetty vertailutaulukko ja ominaisuuksien kertoimet.

Taulukko 10. Vertailutaulukko, jossa esitetty kertoimet, sijoitukset ja lopullinen tulos.

Ominaisuus	Kerroin		Kokeen sijoitus			
Kontaktikulma	5		4			
Keskihajonta	4		3			
Vesihöyrynläpäisevyys	3		2			
Vedenläpäisevyys	2		1			
Visuaalinen tarkastelu	1					
Tuote	Vesihöyrynläpäisevyys	Vedenläpäisevyys	Kontaktikulma	Keskihajonta	Visuaalinen	Tulos
Sto	12	6	20	12	4	54
Weber	6	4	15	16	3	44
Tikkurila	3	8	5	8	2	26
Fescon	9	2	10	4	1	26

Ston tuote oli kymmenellä pisteellä voittaja ennen toiseksi sijoittunutta Weberin tuotetta. Ston tuote sijoittui viidestä ominaisuudesta ensimmäiseksi kolmessa, ja kaksi muuta ominaisuutta olivat sijoittuneet toiseksi. Toiseksi vertailussa tuli Weberin tuote, joka suoriutui kokeista erittäin hyvin ja oli keskihajonnassa selkeästi ensimmäinen. Fesconin ja Tikkurilan tuotteet sijoituivat tasapisteille. Niiden tulokset olivat toisiaan lähellä monissa kokeissa, mutta Tikkurila oli selkeästi parempi keskihajonnan tuloksissa, verrattaessa sitä kontaktikulman suuruuteen. Tästä johtuen sijoitettiin Tikkurilan tuote kolmanneksi, vaikka pisteet olivat samat.

Vertailussa itsepuhdistuvuuden kannalta kontaktikulmalla oli isoin kerroin ja sen suhde keskihajontaan oli iso merkitys ja nämä määrittivät sijoituksia aika paljon, varsinkin kahden viimeisen välillä. Vesihöyrynläpäisevyys ja vedenläpäisevyys olivat tärkeitä ominaisuuksia ajatellen julkisivumaalin toimintaa ja vaatimuksia.

6.2 Tulosten epävarmuus

Saatujen tulosten kohdalla voidaan aina olettaa pientä mittausepävarmuutta. Kaikki kokeet kuitenkin suoritettiin samoissa olosuhteissa ja punnitukset suoritettiin aina samalla vaa'alla, joka oli kalibroitu ennen punnitusta. Laboratorion olosuhteet mitattiin ennen kokeiden alkua, sekä koekappaleiden maalaus suoritettiin samoissa tiloissa, saman henkilön maalaamana. Kappaleiden kuivuminen tapahtui myös samoissa olosuhteissa, joten koekappaleiden valmistuksessa ei pitäisi olla merkittäviä eroja kappaleiden välillä.

Testien aikana huomattiin vesihöyrynläpäisevyyskokeessa puutetta silikonin tiiveyden pitävyydestä, sekä vedenläpäisevyyskokeessa huomattiin puutetta tiivistävän epoksin maalikalvon yhdenmukaisuudessa. Nämä seikat ovat saattaneet vaikuttaa osaan tuloksiin, ja se täytyy ottaa huomioon. Työssä suoritettiin vertailu keskinäisten tuloksien perusteella, joten samanlaisten mittausolosuhteiden valossa voidaan pitää tuloksia riittävinä vertailua varten.

7 Yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli suorittaa kokeita ja tehdä vertailua kiviainesjulkisivumaaleille, joita myydään itsepuhdistuvina, vettä hylkivinä tai hyvin puhtaana pysyvinä maaleina. Vertailun tavoitteena oli tarkastella eri tuotteiden ominaisuuksien eroja itsepuhdistuvuuden kannalta.

Koekappaleiden valmistus sujui hyvin ja kaikki kappaleet saatiin maalattua samoina päivinä, ja täten olosuhteet kaikille tuotteille olivat samat. Kokeet sujuivat suunnitellusti ja niistä saatiin kaikista vertailukelpoiset tulokset. Suoritetut kokeet tehtiin standardien SFS-EN ISO 7783:2018, SFS EN 1062-3:2008, SFS-EN ISO 19403-2:2020 ja SFS-EN 1062-1 mukaisesti. Vertailu saatiin tehtyä tuloksien perusteella ja ainoa tuote, jota myytiin itsepuhdistuvana, sijoittui ensimmäiseksi vertailussa.

Itsepuhdistuvassa pinnassa oleellisin asia oli kontaktikulman suuruus ja se, kuinka hydrofobinen pinta on. Tämän työn perusteella, vaikka tuotteen kontaktikulma oli suuri (yli 100°), pisara alkoi silti leviämään pinnalla oltuaan vain hetken. Vasta yli 140°:n tuloksiin

yltäneiden tuotteiden pisarat pysyvät hyvin muodossaan. Voidaan olettaa, että jos halutaan myydä tuotetta oikeasti itsepuhdistuvana, täytyy pinnan olla todella lähellä superhydrofobista pintaa. Superhydrofobiseen pintaan vaikuttivat lisäksi maalin karheus ja topografia, mikä täytyisi ottaa huomioon maalin kehittämisessä. Tämän työn rajoissa ei pystytty tarkastelemaan pintojen topografiaa, mutta se olisi ollut kontaktikulman lisäksi yksi koe, jonka olisi voinut tehdä nähdäkseen, olisiko tuotteilla ollut huomattavia eroja.

Itsepuhdistuvan maalin nimellä ei näistä tuotteista ole markkinoitu kuin Ston tuotetta, muut valmistajat kuvailivat tuotteitansa vettä hylkivinä tai puhtaana pysyvinä. Silikonihartsia sideaineena on tunnettu myös vettä hylkivästä ominaisuudesta, joten sen perusteella varmasti kaikki tuotteet hylkivät vettä jossain määrin. Voidaan pohtia, ymmärtääkö kuluttaja eron itsepuhdistuvan ja vettä hylkivän maalin tai puhtaana pysyvän termien merkityksellä, koska ne saattavat kuulostaa hyvin samanlaiselta, vaikka selkeästi näistäkin löytyy eroja.

Rakennuksien julkisivun kannalta olisi viisasta valita kivijulkisivuille, jotka huokoisuutensa takia altistuvat kosteudelle, maali, joka imee itseensä mahdollisimman vähän vettä ja kosteutta. Itsepuhdistuvassa maalissa on isona hyötynä myös lian tarttumisen pisaraan, eikä se täten leviä julkisivun pinnalla. Varsinkin nykypäivänä, kun halutaan rakennuksille pitkä elinkaari ja pitää huoltokustannuksia maltillisena, olisi itsepuhdistuva maali yksi kustannustehokas vaihtoehto siihen.

Tätä työtä voisi jatkaa tutkimalla maalien eroja säätesteillä julkisivulla, miten kukin tuote pitää puhtautensa sääoloissa ja kuinka vesi oikeasti käyttäytyy pinnalla. Lisäksi voitaisiin tehdä aiemmin mainittu topografian tarkastelut. Tähän työhön liittyen voitaisiin myös tutkia, miten paljon oikeasti voitaisiin vähentää huoltokustannuksia rakennuksilla, jos julkisivulle valitaan itsepuhdistuva maali.

Lähteet

- 1 Sto yritys. Verkkoaineisto. Sto Finexter Oy. <<https://www.sto.fi/s/yritys>>. Luettu 5.5.2021.
- 2 Kujo, Miika. 2016. Funktionaalisen julkisivupinnoitteen pitkäaikaiskestävyys rapautulla alustalla. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Suonto, Yrjö: Julkisivujen korjausopas, Julkisivuyhdistys ry. 1997.
- 4 Kiviainespintojen maalaus käsittelyt. Verkkoaineisto. Rakennustieto. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010310.pdf>>. Luettu 20.8.2021.
- 5 Kosteus rakennuksissa RT 05-10710. 1999. Ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö.
- 6 Turunen, Hannu. 2019. Rakennusten pinnat ja niiden elinkaari, rakennusfysiikka. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 Rauhala, Tomi. 2014. Kosteudenhallinta. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Materiaalien ominaisuudet. Verkkoaineisto. Sisäilmäyhdistys Ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Materiaalien-ominaisuudet>>. Luettu 28.8.2021
- 9 Silicone resins and intermediates. Verkkoaineisto. Dow. <<https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/catalog-selection-guide/25/25-07/25-799-01-silicone-resins-intermediates-selection-guide.pdf>>. Luettu 5.9.2021.
- 10 Silicone resin. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Silicone_resin>. Luettu 5.9.2021.
- 11 Laitinen, Timo. 2019. Maalikemia. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Vihelä, Ville. 2019. Kontaktikulma- ja pintaenergiamittalaitteen käyttöönotto ja mittauksen optimointi paperinäytteille. Tekniikan kandidaatintyö. LUTPub-julkaisuarkisto.
- 13 Kärkkäinen, Tero. 2010. Itsepuhdistuvat pinnat. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 14 Young's equation. Verkkoaineisto. Stack Exchange. <<https://physics.stackexchange.com/questions/485895/youngs-equation>>. Luettu 27.5.2021.
- 15 Pintajännitys ja kostutus. Verkkoaineisto. Docplayer. <<https://docplayer.fi/45818199-2-pintajannitys-ja-kostutus.html>>. Luettu 26.5.2021.
- 16 StoColor Lotusan. Verkkoaineisto. Sto Finexter Oy. <<https://www.sto.fi/s/p/a1F2p00000PivCREAZ/stocolor-lotusan>>. Luettu 10.4.2021
- 17 Weber Aquaclean Rapatun julkisivun suojamaali. Verkkoaineisto. Saint-Gobain Finland Oy. <<https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/julkisivumaalit/weber-aquaclean-rapatun-julkisivun-suojamaali>>. Luettu 10.4.2021.
- 18 Fescon Silikonihartsimaali. Verkkoaineisto. Fescon Oy. <<https://www.fescon.fi/tuotteet/nestemaiset-julkisivumaalit-ja-pinnoitteet/99/silikonihartsimaali>>. Luettu 10.4.2021.
- 19 Finngard Clean -julkisivumaali. Verkkoaineisto. Tikkurila Oyj. <<https://tikkurila.fi/pro/tuotteet/finngard-clean-julkisivumaali>>. Luettu 10.4.2021.
- 20 SFS-EN ISO 7783-2. 2018. Determination and classification of water-vapour transmission rate. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto .
- 21 SFS-EN 1062-1. 2004. Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN 1062-3. 2008. Determination of liquid water permeability. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 23 SFS-EN ISO 19403-2. 2020. Determination of the surface free energy of solid surfaces by measuring the contact angle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Kontaktikulmakokeiden tulokset

FESC 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	136,24	137,04	136,64
0.31	134,46	135,31	134,88
0.62	132,94	134,29	133,61
0.94	133,04	134,57	133,81
1.25	132,30	132,73	132,52
1.56	130,47	130,66	130,57
1.87	129,30	129,51	129,40
2.19	128,08	128,48	128,28
2.50	126,99	126,76	126,87
2.81	125,12	124,78	124,95
3.13	124,94	124,49	124,71
3.44	122,96	122,61	122,78
3.75	121,77	121,38	121,57
4.06	121,40	121,30	121,35
4.38	120,26	120,28	120,27
4.69	119,37	119,50	119,44
5.00	118,48	118,67	118,57
5.31	118,17	118,17	118,17
5.62	116,63	117,42	117,03
5.94	115,52	116,47	115,99
Average	125,42	125,72	125,57
Min	115,52	116,47	115,99
Max	136,24	137,04	136,64
Range	20,72	20,58	20,65
Stdev	6,43	6,68	6,55

FESC 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	124,23	124,99	124,61
0.31	122,05	122,92	122,48
0.62	121,19	122,11	121,65
0.94	120,40	121,06	120,73
1.25	118,07	118,58	118,33
1.56	116,57	116,63	116,60
1.87	114,36	114,50	114,43
2.19	113,46	113,88	113,67
2.50	111,70	111,91	111,81
2.81	110,57	110,66	110,61
3.13	110,35	110,95	110,65
3.44	108,67	108,25	108,46
3.75	107,76	107,77	107,76
4.06	106,46	106,86	106,64
4.38	105,64	105,45	105,55
4.69	105,00	105,08	105,04
5.00	103,05	103,14	103,10
5.31	102,97	102,45	102,71
5.62	102,04	101,99	102,01
5.94	100,40	99,88	100,14
Average	111,25	111,45	111,35
Min	100,40	99,88	100,14
Max	124,23	124,99	124,61
Range	23,84	25,11	24,47
Stdev	7,29	7,64	7,47

FESC 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	149,97	147,99	148,98
0.31	145,95	144,31	145,13
0.62	145,78	144,19	144,99
0.94	142,57	141,14	141,85
1.25	140,38	138,46	139,42
1.56	138,52	136,04	137,28
1.87	135,52	133,91	134,72
2.19	133,86	131,31	132,58
2.50	134,85	133,28	137,07
2.81	132,17	128,68	130,43
3.13	131,72	129,40	130,56
3.44	129,78	127,35	128,56
3.75	127,48	126,74	127,11
4.06	129,42	128,34	128,88
4.38	125,06	123,96	124,51
4.69	123,63	121,82	122,72
5.00	124,28	123,83	124,06
5.31	121,62	119,91	120,77
5.62	121,03	119,43	120,23
5.94	120,86	117,70	119,28
Average	132,72	130,89	131,81
Min	120,86	117,70	119,28
Max	149,97	147,99	148,98
Range	29,11	30,29	29,70
Stdev	8,91	8,89	8,89

Tikkurila 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	121,26	122,58	121,92
0.31	120,66	121,88	121,27
0.62	120,79	121,78	121,28
0.94	120,29	121,11	120,70
1.25	119,61	120,23	119,92
1.56	119,39	120,20	119,80
1.87	118,86	119,98	119,42
2.19	119,19	120,25	119,72
2.50	118,56	119,47	119,02
2.81	118,04	118,62	118,33
3.13	117,48	118,09	117,78
3.44	117,72	118,19	117,95
3.75	117,75	118,45	118,10
4.06	116,80	117,19	117,00
4.38	118,71	116,92	116,82
4.69	116,33	116,38	116,36
5.00	116,03	116,22	116,12
5.31	115,91	116,23	116,07
5.62	115,53	115,82	115,67
5.94	115,74	115,84	115,79
Average	118,13	118,77	118,45
Min	115,53	115,82	115,67
Max	121,26	122,58	121,92
Range	5,73	6,76	6,24
Stdev	1,82	2,17	2,00

Tikkurila 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	127,29	127,48	127,38
0.31	126,58	126,58	126,64
0.62	126,13	126,06	126,09
0.94	125,81	125,69	125,75
1.25	125,81	125,78	125,52
1.56	125,56	125,43	125,49
1.87	125,54	125,03	124,90
2.19	124,77	124,64	124,50
2.50	124,37	125,09	124,64
2.81	124,19	124,54	124,14
3.13	123,74	124,10	123,84
3.44	123,58	123,56	123,43
3.75	123,31	123,40	123,13
4.06	122,86	122,20	121,93
4.38	121,67	122,43	121,99
4.69	121,55	122,37	121,95
5.00	121,12	121,82	121,47
5.31	121,29	122,02	121,66
5.62	121,11	121,90	121,51
5.94	120,39	121,19	120,79
Average	123,62	124,06	123,84
Min	120,39	121,19	120,79
Max	127,29	127,48	127,38
Range	6,90	6,28	6,59
Stdev	2,11	1,83	1,97

Tikkurila 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	125,13	123,01	124,07
0.31	125,03	122,69	123,86
0.62	124,68	122,35	123,52
0.94	124,30	122,06	123,18
1.25	123,34	121,16	122,25
1.56	123,12	120,91	122,02
1.87	122,09	120,34	121,22
2.19	122,02	120,11	121,07
2.50	121,88	119,98	120,93
2.81	121,60	119,69	120,64
3.13	121,85	119,80	120,83
3.44	120,95	119,18	120,07
3.75	120,78	119,48	120,13
4.06	121,49	120,63	121,06
4.38	120,48	119,22	119,85
4.69	120,04	119,02	119,53
5.00	120,20	119,31	119,76
5.31	119,77	118,85	119,31
5.62	119,85	119,05	119,45
5.94	119,04	118,60	118,82
Average	121,88	120,27	121,08
Min	119,04	118,60	118,82
Max	125,13	123,01	124,07
Range	6,09	4,41	5,25
Stdev	1,85	1,35	1,59

Sto 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	149,58	148,55	148,06
0.31	149,67	148,39	149,03
0.62	149,22	147,87	148,55
0.94	149,23	148,20	148,72
1.25	148,86	148,17	148,52
1.56	149,66	148,62	149,14
1.87	149,53	148,74	149,14
2.19	148,93	148,30	148,62
2.50	149,78	148,41	149,10
2.81	149,55	148,26	148,90
3.13	149,36	148,22	148,79
3.44	156,83	169,02	162,92
3.75	149,34	148,40	148,87
4.06	149,08	147,86	148,47
4.38	149,15	148,28	148,71
4.69	148,83	147,71	148,27
5.00	148,88	148,02	148,45
5.31	148,10	147,33	147,71
5.62	148,38	147,58	147,98
5.94	148,21	147,48	147,84
Average	149,51	149,17	149,34
Min	148,10	147,33	147,71
Max	156,83	169,02	162,92
Range	8,73	21,69	15,21
Stdev	1,79	4,69	3,22

Sto 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	150,47	150,25	150,36
0.31	150,13	149,76	149,95
0.62	0,00	0,00	0,00
0.94	149,54	149,51	149,53
1.25	149,15	149,03	149,09
1.56	149,02	148,92	148,97
1.87	148,70	148,94	148,82
2.19	148,08	148,27	148,17
2.50	148,46	148,57	148,52
2.81	148,60	148,13	148,15
3.13	147,94	147,87	147,90
3.44	148,69	149,64	149,17
3.75	147,64	147,67	147,66
4.06	147,61	147,93	147,77
4.38	147,16	147,20	147,18
4.69	147,02	147,15	147,08
5.00	147,32	146,68	147,00
5.31	147,05	146,36	146,71
5.62	147,58	148,39	147,99
5.94	148,11	148,67	148,39
Average	140,89	140,95	140,92
Min	147,02	146,36	146,71
Max	150,47	150,25	150,36
Range	3,45	3,89	3,65
Stdev	1,01	1,06	1,02

Sto 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	134,77	134,10	134,43
0.31	134,52	133,99	134,25
0.62	134,45	133,87	134,16
0.94	134,15	133,65	133,90
1.25	134,34	133,68	134,01
1.56	133,80	133,13	133,46
1.87	133,50	133,11	133,30
2.19	133,73	133,26	133,50
2.50	134,01	133,25	133,63
2.81	133,63	132,86	133,25
3.13	133,36	132,74	133,05
3.44	133,34	132,80	133,07
3.75	133,22	132,79	133,01
4.06	132,81	132,37	132,59
4.38	132,65	132,33	132,49
4.69	132,78	132,38	132,58
5.00	132,26	131,97	132,12
5.31	132,13	131,92	132,02
5.62	132,27	131,84	132,06
5.94	132,12	131,87	132,00
Average	133,39	132,90	133,14
Min	132,12	131,84	132,00
Max	134,77	134,10	134,43
Range	2,65	2,23	2,44
Stdev	0,84	0,73	0,78

Weber 1			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	134,90	135,12	135,01
0.31	134,49	135,22	134,86
0.62	134,60	135,40	135,00
0.94	134,73	135,33	135,03
1.25	134,31	135,23	134,77
1.56	134,67	135,31	134,99
1.87	134,71	135,06	134,88
2.19	134,58	135,15	134,87
2.50	134,50	134,95	134,73
2.81	134,68	135,02	134,85
3.13	134,71	135,14	134,92
3.44	134,88	135,23	135,05
3.75	134,80	135,24	135,02
4.06	134,94	135,35	135,15
4.38	134,81	135,34	135,08
4.69	134,57	135,04	134,80
5.00	134,60	135,10	134,85
5.31	134,72	135,00	134,86
5.62	134,81	135,06	134,93
5.94	134,61	135,04	134,83
Average	134,68	135,17	134,92
Min	134,31	134,95	134,73
Max	134,94	135,40	135,15
Range	0,63	0,45	0,42
Stdev	0,16	0,13	0,11

Weber 2			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	137,76	137,35	137,56
0.31	137,71	137,31	137,51
0.62	137,87	137,57	137,72
0.94	137,67	137,23	137,45
1.25	137,57	137,23	137,40
1.56	137,90	137,29	137,60
1.87	137,94	137,40	137,67
2.19	137,67	137,28	137,47
2.50	138,09	137,45	137,77
2.81	137,67	137,30	137,49
3.13	137,70	137,55	137,62
3.44	137,93	137,45	137,69
3.75	137,87	137,60	137,74
4.06	137,62	137,54	137,58
4.38	138,08	137,31	137,70
4.69	138,17	137,50	137,83
5.00	137,88	137,53	137,70
5.31	137,82	137,18	137,50
5.62	138,06	137,59	137,83
5.94	138,09	137,75	137,92
Average	137,85	137,42	137,64
Min	137,57	137,18	137,40
Max	138,17	137,75	137,92
Range	0,60	0,57	0,52
Stdev	0,18	0,15	0,14

Weber 3			
Time	CA L	CA R	CA Mean
0.00	139,42	139,44	139,43
0.31	139,34	139,50	139,42
0.62	139,15	139,39	139,27
0.94	139,43	139,18	139,31
1.25	139,65	139,54	139,59
1.56	139,44	139,65	139,54
1.87	139,74	139,67	139,71
2.19	139,36	139,66	139,51
2.50	139,40	139,55	139,47
2.81	139,33	139,49	139,41
3.13	139,76	140,03	139,89
3.44	139,56	139,80	139,68
3.75	139,61	139,73	139,67
4.06	139,74	139,98	139,86
4.38	139,82	139,48	139,65
4.69	139,51	139,69	139,60
5.00	139,52	139,58	139,55
5.31	139,98	139,67	139,83
5.62	139,61	139,90	139,76
5.94	139,83	139,94	139,88
Average	139,56	139,64	139,60
Min	139,15	139,18	139,27
Max	139,98	140,03	139,89
Range	0,82	0,84	0,62
Stdev	0,21	0,21	0,19

Vesihöyrynläpäisevyysskoekiden tulokset

Tuote	delta	g/h	Vcs	Vs	V	Sd (m)	ka Sd
Lo1	0.478	0.1195	447.67		2879.34	0.01	0.005
Lo2	0.511	0.1278	478.58		4924.99	0.004	
Lo3	0.505	0.1263	472.96		4388.43	0.005	
Ti1	0.151	0.0377	141.42		192.88	0.11	0.11
Ti2	0.142	0.0355	132.99		177.53	0.11	
Ti3	0.137	0.0343	128.31		169.28	0.12	
We1	0.248	0.0620	232.26		413.40	0.05	0.05
We2	0.239	0.0597	223.84		387.43	0.05	
We3	0.254	0.0635	237.88		431.55	0.05	
Fes1	0.398	0.0995	372.75		1255.80	0.02	0.02
Fes2	0.387	0.0968	362.44		1146.05	0.02	
Fes3	0.399	0.0998	373.68		1266.50	0.02	
Ref.	0.566	0.1415		530.09			