

Antti-Matti Lemberg

ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN VAURIOMEKANISMIT JA KUNTOTUTKI- MUSMENETELMÄT

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Antti-Matti Lemberg: Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Kesäkuu 2019

Eristerappausjärjestelmillä tarkoitetaan tuulettumattomia rapattuja julkisivujärjestelmiä, joissa rappausalustana toimii lämmöneriste. Suomessa käytettävät eristerappausjärjestelmät voidaan jakaa ohutrappaus-eristejärjestelmiin sekä paksurappaus-eristejärjestelmiin. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 5-10 mm, kun taas paksurappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 20-25 mm. Paksurappaus-eristejärjestelmiä käytetään pääsääntöisesti Suomessa ja Ruotsissa. Ohutrappaus-eristejärjestelmiä käytetään laajemmin ympäri maailmaa.

Tutkimuksen tavoite oli selvittää eristerappausjärjestelmien käyttöikään vaikuttavat tekijät, kuten tyypillisimmät vauriomekanismit, rasitustekijät, materiaalien säilyvyysominaisuudet, laatuvaatimukset ja rakenteiden riskikohdat, sekä kuntotutkimusmenetelmät ja yleisimmät vauriot Suomessa. Tutkimuskysymyksiin pyrittiin vastaamaan kirjallisuusselvityksen sekä tutkimusaineiston avulla. Kirjallisuusselvityksen avulla selvitettiin eristerappausjärjestelmissä käytettyjen materiaalien säilyvyysominaisuuksia, järjestelmien vauriomekanismeja, rasitustekijöitä sekä laatuvaatimuksia. Tutkimusaineiston avulla pyrittiin vastaavasti arvioimaan järjestelmien yleisimpiä vauriotyyppejä ja rakenteiden riskikohtia. Tutkimusaineisto koostui 24 rakennuksen kuntotutkimusraportista, kuntoarvioraportista tai muulla tavoin järjestelmien vaurioitumiseen liittyvästä materiaalista. Lisäksi järjestelmien yleisimpiä vauriotyyppejä ja riskikohtia pyrittiin arvioimaan kohdekäyntien perusteella. Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusmenetelmiä kartoitettiin soveltamalla tutkimuksessa kertynyttä tietoa sekä muiden rakenteiden kuntotutkimusmenetelmiä.

Tutkimusaineiston perusteella eristerappausjärjestelmien halkeilu oli molempien järjestelmätyyppien tyypillisin vaurio. Halkeilu kasvattaa järjestelmien kosteusrasitusta, joten se vaikuttaa myös monen muun vaurion syntymiseen, kuten laastin pakkasrapautumiseen tai pinnoitteen irtoamiseen. Järjestelmien halkeilua tulisi tarkkailla etenkin järjestelmien ensimmäisinä vuosina, ja halkeamat tulisi korjata mahdollisimman pian niiden ilmestyttyä, jotta kosteus ei pääse vaurioittamaan rakennetta muulla tavoin. Suunnittelu- ja työvirheet vaikuttavat myös merkittävästi rakenteiden käyttöikään ja vaurioitumiseen, koska toimimattomat ja tiivistämättömät liitokset lisäävät rappauksen kosteusrasitusta. Lisäksi rappauksen levittämisen yhteydessä tehdyt työvirheet lisäävät merkittävästi rappauksen halkeiluriskiä.

Avainsanat: Eristerappausjärjestelmä, ohutrappaus-eristejärjestelmä, paksurappaus-eristejärjestelmä, vaurioituminen, kuntotutkimus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Antti-Matti Lemberg: Degradation Mechanisms and Condition Survey Methods of External Thermal Insulation Composite Systems

Master of Science Thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Civil Engineering

June 2019

The term External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) is used for undrained rendered façade systems in which thermal insulation is the base for rendering. ETICS can be divided into thin-render systems and thick-render systems. In thin-render systems the thickness of the render is about 5-10 mm whereas in thick-render systems the thickness of the render is about 20-25 mm. Thick-render systems are used mostly in Finland and Sweden. Thin-render systems are more widely used around the world.

The objective of this research was to identify factors that affect the service life of ETICS, such as the most typical degradation mechanisms, environmental stresses, durability properties of materials, quality requirements and risk structures as well as to identify condition survey methods and the most common degradations of ETICS in Finland. Literature survey and research material were used to answer the research questions. Durability properties of materials, degradation mechanisms, environmental stresses and quality requirements were clarified with the literature survey. The most common degradations and risk structures of ETICS were estimated using the research material. The research material consisted of 24 condition survey reports, condition assessment reports or other materials connected to the degradation of ETICS. The most common degradations and risk structures of ETICS were also estimated by visiting buildings that have ETICS façade. The condition survey methods of ETICS were studied by applying knowledge accumulated in the research and the condition surveys of the other façade types like concrete façade.

Cracking of render was found to be the most typical degradation of thin-render systems and thick-render systems. The cracking increases the moisture stress of both systems. The moisture stress affects the formation of many other degradations, such as frost damage of the render and loss of adherence of coating. The formation of cracking of ETICS should be observed especially during the first years of the systems and the cracks should be repaired as soon as possible so that the moisture will not be able to damage the structures in other ways. Design errors and work mistakes also have a significant influence on the service life of ETICS and the damaging of structures because non-functioning and unsealed joints increase the moisture stress of render. Work mistakes during rendering significantly increase the risk of cracking formation in render.

Keywords: External Thermal Insulation Composite Systems, ETICS, thin-render systems, thick-render systems, degradation, condition survey

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

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisessä yliopistossa osana Julkisivuyhdistys ry:n ”Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät” -projektia. Haluan kiittää työn ohjausryhmään kuuluneita yrityksiä sekä esimiestäni Toni Pakkala ja ohjaajaani Jukka Lahdensivua työn kommentoinnista ja ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia tutkimusaineistoa lähettäneitä tahoja. Erityiskiitokset työn aktiivisesta kommentoinnista ja eteenpäin saattamisesta Timo Rautaselle, Pekka Kokolle, Jouni Kourulalle ja Juha Hartikalle.

Ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat yritykset: *A-Insinöörit Suunnittelu Oy* (Mikko Tarri), *Consti Julkisivut Oy* (Jan Viitala), *Finnfoam Oy* (Asso Erävuoma ja Jouni Eronen), *Frontago Oy* (Juha Hartikka), *HSSR Oy* (Jari Kauppinen), *Insinööritoimisto Conditio Oy* (Alpo Eskola), *Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy* (Simo-Pekka Valtonen ja Pekka Kokko), *Julkisivukonsultointi JK Oy* (Jouni Kourula), *Julkisivuyhdistys ry* (Petri Annila ja Toni Pakkala), *Labroc Oy* (Tomi Tolppi), *Narmapinnoitus Oy* (Esa Narmala ja Merja Nikula), *Parma Oy* (Juha Rämö ja Matti Haukijärvi), *Paroc Oy Ab* (Susanna Tykkä-Vedder), *Ramboll Finland Oy* (Inari Weiho), *Renovatek Oy* (Jaakko Koskinen ja Arto Köliö), *Saint-Gobain Finland Oy / ISOVER* (Kimmo Huttunen), *Saint-Gobain Finland Oy / Weber* (Antti Saajanlehto, Timo Rautanen ja Mika Pesonen), *Sto Finexter Oy* (Liisa Tenkula-Kemppainen), *Tikkurila Oyj* (Matti Kumpulainen) ja *WSP Finland Oy* (Mika Matikka, Jenny Karjalainen ja Pirkko Kekäläinen).

Lisäksi haluan kiittää Matti Erosta Insinööritoimisto Conditio Oy:stä yhteistyöstä opinnäytetyöprojekteissa.

Kiitos!

Tampere, 13.6.2019

Antti-Matti Lemberg

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Eristerappausjärjestelmien historia ja nykyinen käyttö	1
1.2	Eristerappausjärjestelmien käyttöikä ja vaurioituminen	3
1.3	Tutkimuksen tavoite	6
2.	ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN MATERIAALIT JA RAKENNE	7
2.1	Rappauslaastit	8
2.1.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien laastit	10
2.1.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien laastit	12
2.2	Pinnoitteet ja maalit	13
2.2.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien pinnoitteet ja maalit	13
2.2.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien pinnoitteet ja maalit	17
2.3	Rappausverkot ja vahvikkeet	17
2.3.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien rappausverkot ja vahvikkeet	17
2.3.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien rappausverkot ja vahvikkeet	18
2.4	Muut rappauksen varusteet ja mekaaniset kiinnikkeet	19
2.4.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien listat, profiilit, liikuntasaumot ja pellitykset	19
2.4.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien listat, profiilit, liikuntasaumot ja pellitykset	21
2.4.3	Ohutrappaus-eristejärjestelmien mekaaniset kiinnikkeet	26
2.4.4	Paksurappaus-eristejärjestelmien kiinnikkeet	26
2.5	Lämmöneristeet	27
2.5.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien lämmöneristeet	28
2.5.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien lämmöneristeet	30
2.6	Alusrakenne	31
2.7	Eristerappaus betonielementeissä	32
2.7.1	Ohutrappauselementit	32
2.7.2	Paksurappauselementit	33
2.8	Järjestelmien tuotehyväksyntä ja testaus	33
3.	RASITUSTEKIJÄT	36
3.1	Mekaaniset rasitukset	36
3.2	Kosteusrasitus	37
3.2.1	Sade ja viistosade	40
3.2.2	Sisäilman ja ulkoilman kosteus	43
3.2.3	Kosteuden kuivuminen	45
3.3	Jäätymis-sulamissyklit	45
3.4	Lämpötilanvaihtelut	48
3.5	UV-säteily	49
3.6	Pakkovoimat	49
3.7	Ilmansaasteet ja -epäpuhtaudet	50

4.	ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN VAURIOMEKANISMIT	51
4.1	Pakkovoimien aiheuttama halkeilu.....	51
4.2	Plastinen halkeilu.....	54
4.3	Pakkasrapautuminen	54
4.4	Muut rapautumalajit.....	55
4.5	Tartunnan heikkeneminen.....	56
4.5.1	Pinnoitteen tai maalin irtoaminen ja puutteellinen tartunta.....	56
4.5.2	Rappauskerrosten välinen tartunnan heikkeneminen ja puutteellinen tartunta	57
4.5.3	Rappauksen irtoaminen rappausalustasta ja puutteellinen tartunta	58
4.5.4	Rappausalustan irtoaminen alusrakenteesta ja puutteellinen tartunta	59
4.6	Pinnoitteiden ja maalien liituuntuminen	59
4.7	Pinnoitteiden ja maalien haurastuminen	60
4.8	Julkisivujen likaantuminen.....	60
4.9	Kasvillisuus ja leväkasvustot julkisivupinnoilla	61
4.10	Ihmisten ja eläinten aiheuttamat vauriot	62
4.11	Saumausten ja tiivistysten vauriot.....	62
4.12	Kosteus- ja mikrobivauriot.....	65
4.13	Härme.....	67
4.14	Kirjavuus.....	68
4.15	Lämmöneristeiden vanheneminen ja muiden ominaisuuksien heikkeneminen	69
4.16	Rappausverkkojen vaurioituminen	69
4.17	Mekaanisten kiinnikkeiden vaurioituminen.....	69
4.18	Työnsuorituksesta aiheutuvat esteettiset haitat	70
5.	TUTKIMUSAINEISTO	71
5.1	Kuntotutkimus- ja kuntoarvioraportit ja muu eristerappausjärjestelmien vaurioihin liittyvä aineisto.....	71
5.2	Kohdekäynnit	72
6.	ESIMERKKEJÄ OHUTRAPPAUS-ERISTEJÄRJESTELMIEN VAURIOSTA .	74
6.1	Halkeilu.....	74
6.2	Kosteuden aiheuttamat vauriot.....	86
7.	ESIMERKKEJÄ PAKSURAPPAUS-ERISTEJÄRJESTELMIEN VAURIOISTA	94
7.1	Halkeilu.....	94
7.2	Kosteuden aiheuttamat vauriot.....	96
8.	TULOKSET	100
8.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot.....	100
8.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot	105
9.	TULOSTEN TARKASTELU.....	107
9.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmien vaurioituminen.....	107

9.2	Paksurappaus-eristejärjestelmien vaurioituminen	115
9.3	Tulosten luotettavuus	116
10.	SUOSITUKSET ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN KUNTOTUTKIMUSTEN SUORITTAMISEEN	117
10.1	Suunnitelma-asiakirjat ja muut taustatiedot	119
10.2	Silmämääräiset havainnot	119
10.3	Kenttätutkimusmenetelmät	123
10.4	Näytteenotto ja rakenneavaukset	125
10.4.1	Rappausnäytteiden tutkiminen silmämääräisesti	127
10.4.2	Näytteenottokohdat ja näytemäärät	127
10.5	Laboratoriotutkimukset	130
10.5.1	Ohuthietutkimus	130
10.5.2	Ympäristölle ja terveydelle haitalliset aineet	132
10.5.3	Muut laboratoriotutkimukset	132
10.6	Analysointi ja raportointi	133
11.	YHTEENVETO	135
	LÄHTEET	137

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EIFS	Exterior insulation and finishing systems
EPS	Paisutettu polystyreeni (engl. Expanded polystyrene)
ETA	European Technical Approval (suom. Eurooppalainen tekninen arviointi)
ETAG	European Technical Approval Guideline
ETICS	Exterior thermal insulation composite systems
KS-laasti	Kalkkisementtilaasti
PU	Polyuretaani
S-laasti	Sementtilaasti
UV-säteily	Ultraviolettisäteily
XPS	Suulakepuristettu polystyreeni (engl. extruded polystyrene)

1. JOHDANTO

Rakennusten julkisivuratkaisuna sekä uudis- että korjausrakentamisessa ovat Suomessa 2000-luvulla yleistyneet eristerappausjärjestelmät, jotka voidaan jakaa ohut- ja paksurappaus-eristejärjestelmiin. Erona kovalle alustalle tehtäviin yksi-, kaksi- ja kolmikerrosrappauksiin eristerappausjärjestelmissä rappausalustana toimii kovan kiinteän alustan sijaan lämmöneriste. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeenä käytetään joko mineraalivillaa tai solumuovilämmöneristeitä. Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappausalustana käytetään aina mineraalivillaa. Eristeyhdistelmien käyttö on myös mahdollista molemmissa eristerappausjärjestelmissä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 12 ja s. 16)

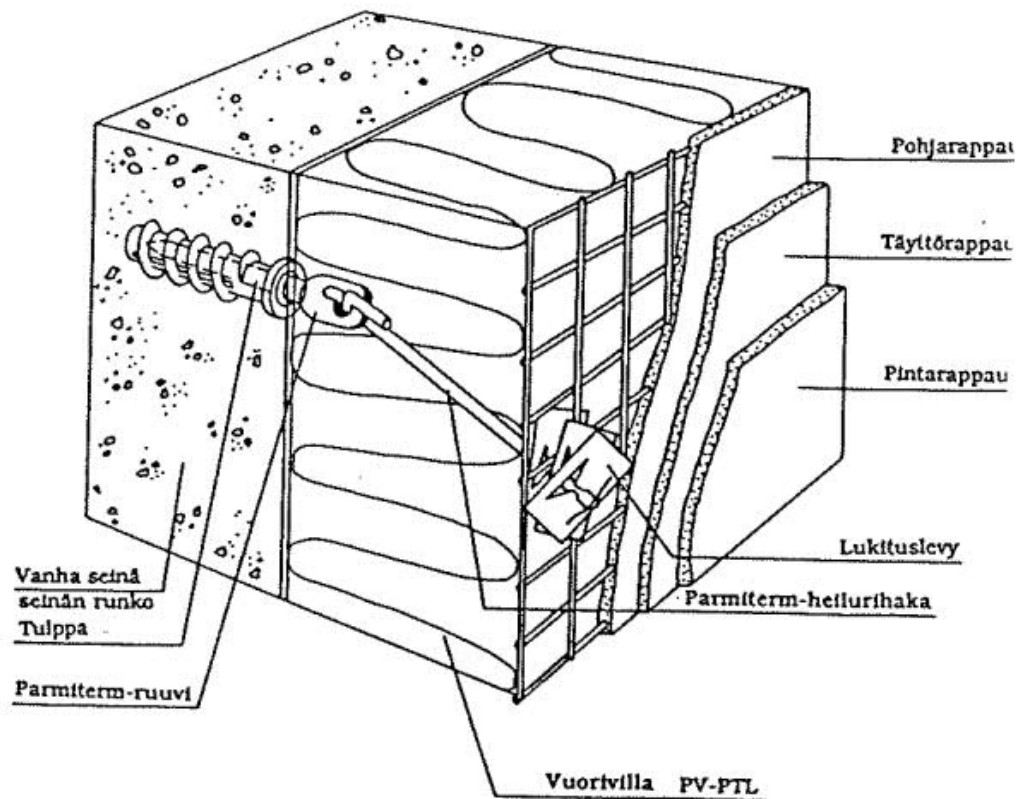
Ohutrappaus-eristejärjestelmiä käytetään laajasti Euroopassa ja muualla maailmassa, missä niistä käytetään englanninkielisiä nimityksiä exterior thermal insulation composite systems (ETICS) tai exterior insulation and finishing systems (EIFS) (Lutz & Bayer 2010, s. 567). Paksurappaus-eristejärjestelmiä käytetään pääsääntöisesti Suomessa ja Ruotsissa.

1.1 Eristerappausjärjestelmien historia ja nykyinen käyttö

Ensimmäinen ohutrappaus-eristejärjestelmällä toteutettu julkisivu rakennettiin Berliinissä vuonna 1957. Saksan lisäksi järjestelmiä käytettiin niiden alkuaikoina myös Itävallassa ja Sveitsissä. (EAE, viitattu: 10.07.2018) Järjestelmien käyttö oli kuitenkin vähäistä vielä 1960-luvulla. Sysäyksen niiden yleistymiselle Euroopassa antoi vuoden 1973 öljykriisi. (Lutz & Bayer 2010, s. 567-568) Tällöin esimerkiksi Saksassa alettiin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota rakennusten lämmöneristykseen (Giebler et al. 2009, s. 195). Vastaavasti Ruotsissa tehtiin paksurappaus-eristejärjestelmäkokeiluja jo vuosina 1949-1950, mutta menetelmän kalleuden takia järjestelmät jäivät ainoastaan kokeiluasteelle (Vesterinen 1991, s. 4).

Ensimmäisissä ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetyt laastit olivat kaksikomponenttisiä. Niiden pohjana oli liima, johon työmaalla lisättiin sementtiä. Tätä sekoitusta käytettiin sekä lämmöneristeen ja alusrakenteen välissä liimalaastina että rappauksen verkotuslaastina. Lämmöneristeenä käytettiin paisutettua polystyreeniä (EPS, engl. expanded polystyrene). Rappaus vahvistettiin alkalinkestävällä lasikuituverkolla. Pinnoitteena käytettiin polymeeripohjaisia laasteja. Tällaisten järjestelmien haittapuoli oli kahdesta eri komponentista muodostuvat laastit, joiden sekoittuminen keskenään homogeeniseksi seokseksi työmaalla oli epävarmaa. Tästä johtuen 1970-luvulta lähtien yksikomponenttiset kuivalaastit ovat tulleet lähes ainoiksi vaihtoehdoiksi ohutrappaus-eristejärjestelmissä. (Lutz & Bayer 2010, s. 567-568)

Suomessa paksurappaus-eristejärjestelmiä on tehty 1970-luvun lopusta lähtien. Ensimmäinen kaupallinen paksurapattu eristerappauskohde valmistui vuonna 1981 (Neuvonen 2006, s. 278), kun Partek toi markkinoille Parmiterm-järjestelmänsä. Järjestelmällä on tehty koekohteita jo vuonna 1979. Kuvassa 1 on esitetty Parmiterm-järjestelmän rakennetyyppi.



Kuva 1: Parmiterm-järjestelmän rakennetyyppi. (Kuva: Huvi et al. 1990, s. 166)

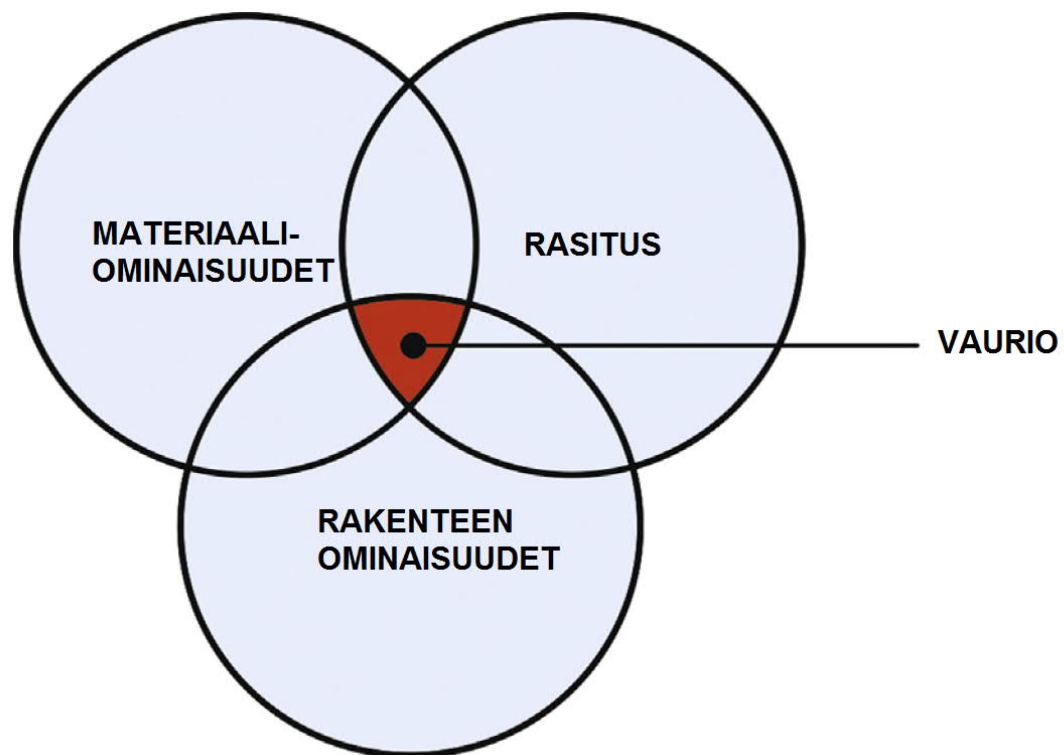
Eristeen päälle tehtyä ohutrappausa on kokeiltu ensimmäistä kertaa Suomessa 1980-luvun alkupuolella (Suvanto 1993, s. 31). Markkinoille ohutrappaus-eristejärjestelmiä on kuitenkin tullut 1980-luvun loppupuolella. Tuolloin järjestelmissä rappausalustana toimi solumuovilämmöneristeet, kuten EPS ja suulakepuristettu polystyreeni (XPS, engl. extruded polystyrene). (Vesterinen 1991, s. 15 ja s. 76) Mineraalivillan päälle toteutettavia ohutrappaus-eristejärjestelmiä on alettu tutkia 1990-luvun loppupuolella (Hytönen 1997, s. 1). Sekä ohut- että paksurappaus- käytettiin lähes ainoastaan korjausrakentamisessa niiden alkuvuosina. Ennen vuotta 1989 eristerappausjärjestelmillä oli tehty muutamia kymmeniä kohteita (Hekkanen 1990, s. 235).

Eriesterappausjärjestelmien suosio on kasvanut huomattavasti 2000-luvulla (Lahdensivu et al. 2016, s. 9). Vuoden 2001 Rakentajain kalenterin mukaan ohutrappaus-eristejärjestelmillä oli toteutettu arviolta 200 000 m² julkisivua (Olenius 2000, s. 743). Vastaavasti vuonna 2015 ohutrappaus-eristejärjestelmillä toteutettiin noin 260 000 m² julkisivua vuodessa ja paksurappaus-eristejärjestelmillä noin 220 000 m² (Riihimäki 2016). Yhteensä

tämä vastaa noin 4 % kaikesta vuonna 2015 toteutetusta julkisivupinta-alasta. Kerrostoissa osuus on kuitenkin huomattavasti suurempi, koska Suomessa valtaosa julkisivuista toteutetaan puusta, jota käytetään pääsääntöisesti pientaloissa. Järjestelmien suosion kasvun syynä voidaan pitää etenkin niiden käytön lisääntymistä uudisrakentamisessa.

1.2 Eristerappausjärjestelmien käyttöikä ja vaurioituminen

Rakenteen vaurioituminen on kolmen tekijän summa. Rasituksen, materiaalin ominaisuuksien ja rakenteen tulee olla sellaiset, että ne mahdollistavat vaurion syntymisen. Poistamalla yhden tekijän yhtälöstä rakenteen vaurioitumisen riski vähenee huomattavasti. (Pakkala et al. 2014, s. 28) Eristerappausjärjestelmien merkittävimpiä rasiustekijöitä ovat säärasitus, erilaiset pakkovoimat sekä mekaaniset rasitukset, kuten iskut. Säärasituksesta merkittävimpiä ovat kosteus- ja pakkasrasitus, lämpötilan vaihtelut sekä ultraviolettisäteily (UV-säteily). (Lahdensivu et al. 2016, s. 22-23) Rakenteen toimintaan puutteita aiheuttavat suunnittelu- ja työvirheet. Kuvassa 2 on esitetty rakenteen vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät.



Kuva 2: Rakenteen vaurioitumisessa rasituksen, materiaaliominaisuuksien ja rakenteen ominaisuuksien tulee olla sellaiset, että ne mahdollistavat vaurion. (Kuva: muokattu Pakkala et al. 2014, s. 28)

Rakenteen vaurioituminen vaikuttaa sen käyttöikään. Rakenteen käyttöiällä tarkoitetaan aikaa rakenteen valmistumisesta hetkeen, jolloin se ei enää täytä sille asetettuja teknillisiä ja toiminnallisia vaatimuksia (ISO 15686-1). Eristerappausjärjestelmät ovat suhteellisen

uusia julkisivuratkaisuja niin Suomessa kuin muualla maailmassa, joten niiden toteutuneesta käyttöiästä on vaikea antaa yksiselitteistä arviota, eikä asiaa ole tutkittu kovinkaan paljon.

Kovalle alustalle tehtyjä rappauksia on tehty pitkään, joten niiden käyttöiästä on jo tietoa. RT 18-10922 (2008, s. 6) -ohjekortin mukaan kovalle alustalle rapattujen julkisivujen teknillinen käyttöikä on rasitetuissa olosuhteissa 30 vuotta, tavanomaisissa olosuhteissa 50 vuotta ja vähän rasitetuissa olosuhteissa 70 vuotta. Rappaukselle tulisi kuitenkin suorittaa huoltomaalaus 10-20 vuoden välein. ETAG 004 -ohjeen (2013, s. 21) mukaan ohutrappaus-eristejärjestelmien tavoiteltu käyttöikä on vähintään 25 vuotta.

Eristerappausjärjestelmät toimivat rakennusfysikaalisesti kuitenkin eri tavalla kuin kovalle alustalle tehtävät rappaukset, joten niiden käyttöikä ei voi suoraan verrata muihin rappauksiin. Eristerappausjärjestelmät altistuvat esimerkiksi rajummalle säärasitukselle kuin kovalle alustalle tehtävät rappaukset, joissa alusta tasaa lämpötila- ja kosteusvaihteluja (Pentti 2014, s. 135). Kovalle alustalle tehtävässä rappauksessa rappausalustalta onkin edellytetty tasaista vedenimukykyä (von Konow 1999, s. 16). Pitkäaikaiskestävyyden kannalta on tärkeää, että eristerappausjärjestelmät toimivat kosteus- ja lämpötekniisesti oikein ja materiaalit kestävät säärasitusta. Esimerkiksi kosteusrasitusta voidaan pienentää oleellisesti liitosten oikeanlaisella suunnittelulla, toteutuksella sekä kunnossapidolla ja huollolla.

Eristerappausjärjestelmien toimivuutta testataan järjestelminä, joissa käytetyt materiaalit valitaan toisiinsa sopiviksi niin, että ne toimivat kokonaisuuksina. Tällöin oikein toimivan rakenteen kannalta on tärkeää, että suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan materiaalitoimittajan ohjeita materiaaleista ja työmenetelmistä.

Ohutrappaus-eristejärjestelmille voidaan hakea CE-merkintää, jolloin testaus perustuu ETAG 004 -ohjeeseen. Suomen olosuhteissa CE-merkinnän pohjana oleva eurooppalainen tekninen arviointi (ETA, engl. European Technical Approval) ei kuitenkaan ota huomioon riittävästi järjestelmien pakkaskestävyyttä (Lahdensivu et al. 2016, s. 18). Tämän takia Suomessa eristerappausjärjestelmille tehdään erilliset tiukemmat pakkas- ja säänkestävyydestaukset, jotta eristerappausjärjestelmien toimivuudesta Suomen olosuhteissa voidaan olla varmempia. Säärasituskokeita on tehty eristerappausjärjestelmille 2000-luvun alkupuolelta lähtien.

Eristerappausjärjestelmien toteutuneista käyttöiästä on tehty muutamia tutkimuksia niin Suomessa kuin muualla Euroopassa. Suomessa Piironen et al. (2003, s. 46-48) arvioivat tekemiensä 13 asuinkiinteistön 21 rakennuksen kuntoarvioiden perusteella eristerapattujen julkisivujen käyttöiäksi 25 vuotta. Käyttöikäarvio edellytti kuitenkin rappauksen halkeamien korjausta sekä liittyvien rakenteiden vikojen korjaamista heti niiden ilmestyttyä. Tällöin tutkimuksen mukaan käyttöikä määräytyy pintarappauksen vaurioitumisen ja esteettisten vaurioiden mukaan.

Piironen et al. (2013) tutkimuksessa yhden kiinteistön kuusi rakennusta oli toteutettu ohutrappaus-eristejärjestelmillä, ja loput 15 rakennusta oli toteutettu paksurappaus-eristejärjestelmillä. Paksurappaus-eristejärjestelmillä toteutetut kohteet olivat iältään 4-20 vuotiaita, ja ohutrappaus-eristejärjestelmillä toteutetut kohteet olivat iältään 4-5 vuotiaita. Rakennuksissa havaittiin pääsääntöisesti pieniä vaurioita, kuten mekaanisten iskujen aiheuttamia vaurioita, pintarappauksen irtoamista ja hilseilyä, halkeilua pystysuuntaisten liikuntasauvojen vieressä, pakkasrapautumista umpinaisten sokkelipeltien päällä sekä julkisivujen likaantumista. Ohutrappaus-eristejärjestelmillä toteutetuissa rakennuksissa oli kuitenkin havaittavissa pitkiä ja leveitä halkeamia ikkuna-aukkojen nurkissa, rappauksen alareunassa sekä liittymissä muihin julkisivumateriaaleihin.

Euroopassa ohutrappaus-eristejärjestelmien käyttöikä ja kunnossapitotarpeita on tutkittu ainakin Saksassa ja Portugalissa. Ximenes et al. (2015) mukaan Portugalin säärasitusolosuhteissa eristerappausjärjestelmien käyttöikä on 17 vuotta, ja 10 vuoden käytön jälkeen rakenne tulisi tutkia ja selvittää kunnossapito- ja korjaustarpeet. Vastaavasti Lengsfeldin (2015) Saksassa tekemän tutkimuksen mukaan eristerappausjärjestelmien kunnossapitajakson pituus on 22 vuotta. Tutkimukset käsittelevät julkisivujen vaurioita hyvin eri tavalla, joten ne eivät ole vertailukelpoisia. Esimerkiksi Lengsfeldin tutkimuksessa rakennukset jaoteltiin vain halkeamien mukaan kolmeen eri vaurioluokkaan. Vastaavasti Ximenes et al. ottivat huomioon rappauksen halkeilun ja lohkeilun, julkisivun esteettiset haitat, kuten likaantumisen, rappauskerrosten tartunnan vaurioitumisen sekä lämmöneristelevyjen saumoissa tapahtuvan vaurioitumisen, kuten saumojen läpikuultavuuden ja laastin halkeilun niiden kohdalla. Ximenes et al. tekemän tutkimuksen alhaisempi käyttöikä syntyy esteettisten haittojen huomioon ottamisessa julkisivujen käyttöiässä sekä niiden suuresta määrästä. Tutkimuksen julkisivuista 98 % havaittiin esteettisiä haittoja.

Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusmenetelmiä ovat tutkineet Amaro et al. (2013). Tutkimuksessaan he tutkivat kirjallisuuskatsauksen avulla kuntotutkimusmenetelmien soveltuvuutta tietyn tyyppisten vaurioiden havaitsemiseen. Lisäksi tutkimuksessa tutkittiin vaurioitumisen syitä ja vaurioiden keskinäistä riippuvuutta 146 julkisivun kuntotutkimuksen avulla sekä korjaustapojen soveltuvuutta erilaisille vaurioille. Tutkimuksen mukaan soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä ovat erilaiset halkeamaleveysmittaukset, rakenneavaukset, iskunkestävyys- ja lävistymiskokeet, ulosvetokokeet, kapillaarisen vedenimeytymisen testaaminen, lämpökamerakuvaukset, kosteusmittaukset, ultraäänitutkimukset sekä erilaiset kemialliset tutkimusmenetelmät.

Kvande et al. (2018) ovat tutkineet eristerappausjärjestelmien vaurioitumiseen johtaneita syitä kenttätutkimusten ja säärasituskokeiden perusteella. Tutkimuksessaan he huomasiivat, että vaurioitumiseen johtaneista syistä suurin osa johtui suunnittelu- ja työvirheistä, kuten liitosten puutteellisesta tiiveydestä, rappausverkon asennusvirheistä, rappauksen liian ohuesta paksuudesta, laastin sekoituksessa tehdyistä virheistä, vääränlaisista rappausolosuhteista, vääränlaisista liittymistä muihin rakenteisiin ja materiaalien yhteensopimattomuudesta.

1.3 Tutkimuksen tavoite

Viime aikoina Suomessa eristerappausjärjestelmissä on havaittu paikoin laaja-alaista vaurioitumista suhteellisen uusissa kohteissa. Tällaiset kohteet ovat jäämässä tavoitellusta 25 vuoden käyttöistään. Koska järjestelmät kasvattavat koko ajan suosiotaan, on tarpeen koota tietoa niiden keskeisimmistä vauriomekanismeista, jotta jatkossa voidaan suunnitella ja toteuttaa yhä toimivampia ja pitkäikäisempiä rakenteita. Kuntotutkimusmenetelmien koonti on tärkeää, jotta järjestelmien vauriot voidaan havaita ja varmentaa kuntotutkimuksessa systemaattisesti, ja koska ensimmäiset 2000-luvulla valmistuneet eristerappausjärjestelmät ovat lähestymässä tavoiteltua käyttöikänsä, jolloin niiden kunto ja toimivuus ovat tarpeen tutkia.

Tämän diplomityön tavoite on selvittää ohut- ja paksurappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriomekanismit sekä yleisimmät vauriot, vaurioitumiseen johtaneet syyt ja vauriosta aiheutuvat seuraamukset julkisivujen toiminnalle. Lisäksi työssä selvitetään eristerappausjärjestelmien käyttöikään vaikuttavat tekijät, vaurioitumisen kannalta riskialttiit kohdat sekä vaurioiden havainnointiin soveltuvat kuntotutkimusmenetelmät. Rakenteen vaurioista rajataan pois alusrakenteen eli kantavan rakenteen vauriot. Työssä ei myöskään käsitellä eristerappausjärjestelmien korjausmenetelmiä.

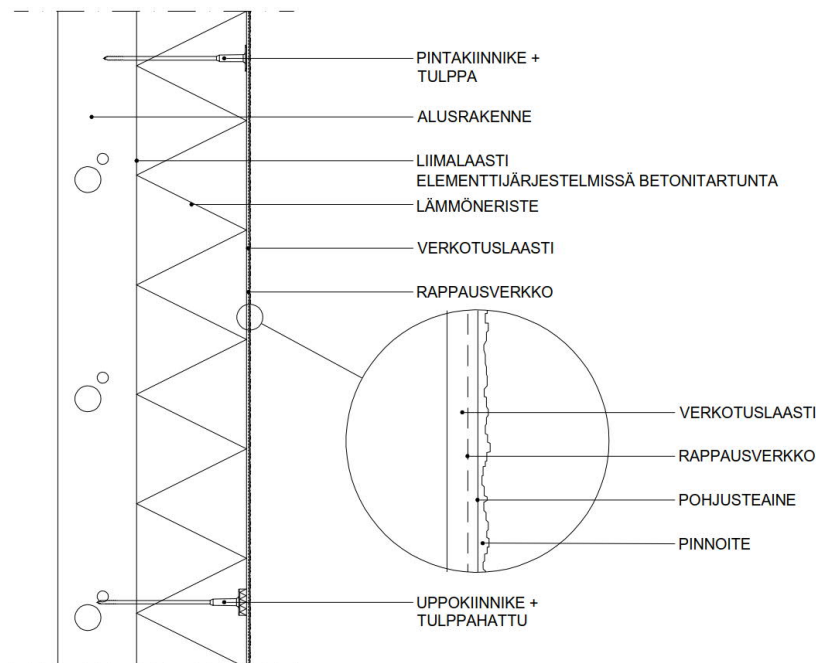
Työn alussa esitellään eristerappausjärjestelmien ja niissä käytettävien materiaalien ominaisuudet. Järjestelmien ja materiaalien ominaisuuksia käsitellään hyvin yleisellä tasolla, koska markkinoilla on ollut hyvin erilaisia järjestelmiä. Samalla esitellään järjestelmissä tapahtuneita muutoksia sekä järjestelmien testausta, koska molempien tarkoitus on parantaa järjestelmien toimivuutta ja pitkäaikaiskestävyyttä. Seuraavassa luvussa kerrotaan eristerapattujen julkisivujen rasiustekijöistä, joilla on niin ikään suuri merkitys eristerappausjärjestelmien vauriomekanismeihin ja käyttöikään. Vauriomekanismit käsitellään tämän jälkeen omassa luvussaan. Luvussa 4 esitellään vauriomekanismeihin vaikuttavat rasiustekijät, materiaalien ja rakenteen ominaisuudet sekä vaurioista aiheutuvat seuraamukset julkisivun toiminnalle.

Kirjauskatsausosion jälkeen esitellään diplomityön tutkimusaineisto. Tutkimusaineisto koostuu kuntotutkimus- ja kuntoarvioraporteista ja muista eristerappausjärjestelmien vaurioitumiseen liittyvistä asiakirjoista sekä kohdekäynneistä. Aineiston avulla pyritään arvioimaan eristerappausjärjestelmien vaurioitumista ja käyttöikään vaikuttavia tekijöitä. Kohdekäyntien vauriohavaintoja käsitellään omana aineistonaan. Kohdekäyntien havaintoja esitellään luvuissa 6 ja 7. Luvussa 8 esitellään varsinaisen tutkimusaineiston tulokset, ja luvussa 9 tarkastellaan tuloksia.

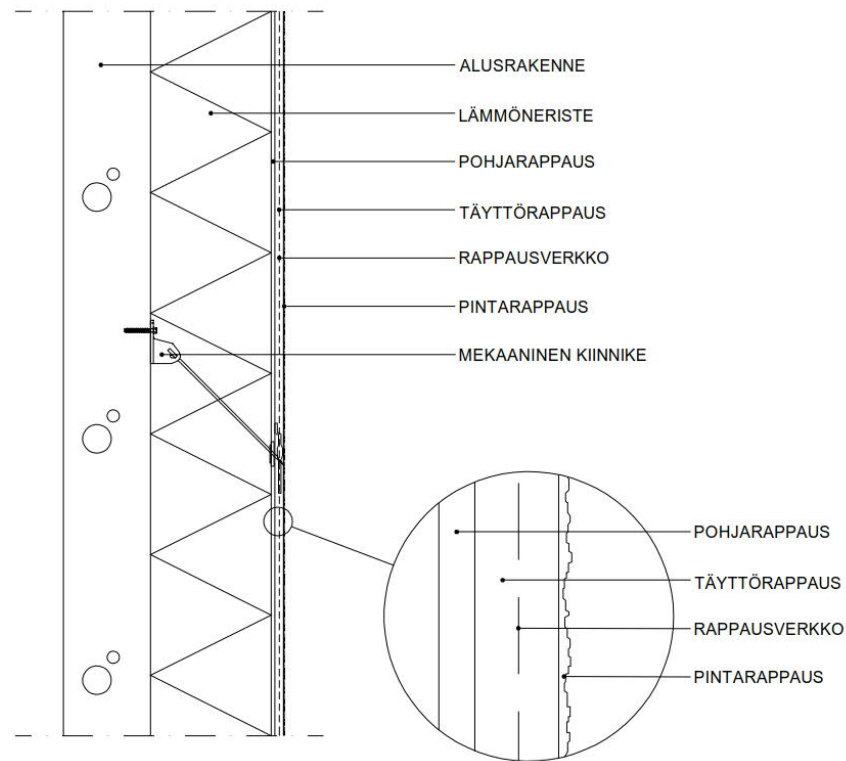
Luvussa 10 esitellään suositukset eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusten suorittamiseen. Suositukset perustuvat tutkimusaineistosta tehtyihin havaintoihin sekä kirjallisuuskatsaukseen. Työn lopussa on yhteenveto.

2. ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN MATERIAALIT JA RAKENNE

Eristerappausjärjestelmillä tarkoitetaan rappausverkoilla vahvistettuja tuulettumattomia rappauksia, joiden rappausalustana toimii lämmöneriste. Eristerappausjärjestelmät voidaan jakaa ohut- ja paksurappaus-eristejärjestelmiin. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 5-10 mm. Niissä rappausalustana käytetään sekä mineraalivilla- että solumuovilämmöneristeitä, kuten EPS-eristeitä. Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 20-25 mm. Niissä rappausalustan uloin kerros on aina mineraalivillaa. Sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä voidaan käyttää myös eristeyhdistelmiä. Lämmöneriste kiinnitetään alusrakenteeseen, joka toimii seinän kantavana rakenteena. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeen kiinnitys toteutetaan liimalaasteilla ja mekaanisilla kiinnikkeillä. Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään aina mekaanisia kiinnikkeitä, jotka toimivat sekä rappauksen että lämmöneristeiden kiinnikkeinä. Itse rappaus muodostuu ohutrappaus-eristejärjestelmissä verkotuslaastista sekä pinnoitteesta ja paksurappaus-eristejärjestelmässä pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta. (Lahdensivu et al. 2016, s. 10-11 ja s. 14-15) Kuvassa 3 on esitetty ohutrappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi. Kuvassa 4 on esitetty paksurappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi.



Kuva 3: Ohutrappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi. Mekaanisia kiinnikkeitä ei käytetä nykyisin aina kaikissa järjestelmissä.



Kuva 4: Paksurappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappauksen tulee olla yhtenäinen, joustava ja sitkeä, jotta se kestää halkeamatta siihen muodostuvat jännitykset. Rappauksen liikkeet ja jännitykset määräytyvät pääsääntöisesti lämmöneristeiden ja alusrakenteiden liikkeiden mukaan, koska rappaus on kiinnittynyt kauttaaltaan jäykkään lämmöneristeeseen, joka on puolestaan liimattu alusrakenteeseen. Tämän takia lämmöneristeiden muodonmuutosten tulee olla hyvin pieniä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 10, s. 25 ja s. 33)

Vastaavasti paksurappaus-eristejärjestelmissä rappaus toimii jäykkänä levynä mineraalivilla-alustan päällä, koska rappauksen paksuus ja siten jäykkyys on huomattavasti suurempi kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Tällöin rappauksen liikkeet määräytyvät rappauksen omien liikkeiden mukaan, ja lämmöneristeen liikkeet eivät aiheuta jännityksiä rappaukselle. (Lahdensivu et al. 2016, s. 14 ja s. 26)

2.1 Rappauslaastit

Ohut- ja paksurappaus-eristejärjestelmät eroavat rappauksen paksuuden lisäksi käytettävien laastien perusteella. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään sekä orgaanisia laasteja että epäorgaanisia sementtilaasteja (S-laasti), joihin on lisätty polymeerejä parantamaan niiden materiaaliominaisuuksia. Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään pääsääntöisesti epäorgaanisia kalkkisementtilaasteja (KS-laasti). (Lahdensivu et al. 2016, s. 11 ja s. 15) Kummassakin järjestelmätyypissä rappauslaastien tehtävä on antaa julkisi-

vulle halutunlainen ulkonäkö, suojata rappausalustaa ja alusrakennetta kosteudelta yhdessä pinnoitteen kanssa sekä suojata lämmöneristeitä iskuilta ja muilta mekaanisilta rasituksilta.

Laastin materiaaliominaisuudet riippuvat pitkälti laastin sideaineesta. Epäorgaanisten laastien lujuuden kehitys perustuu kemiallisiin reaktioihin. Epäorgaanisista laasteista sementtilaastit ovat lujimpia mutta hauraimpia. Kalkkisementttilaasteissa kalkki parantaa laastin plastisia ominaisuuksia, kuten sitkeyttä, ja työstettävyyttä, mutta samalla se pienentää laastin lujuutta. (Lutz & Bayer 2010, s. 546) Sementtilaastien lujuuden kehitys on myös nopeampaa ja kutistuminen suurempaa verrattuna kalkkisementttilaasteihin (Lahdensivu 2005, s. 8 ja s. 25). Kaikki epäorgaaniset laastit ovat huokoisia, ja ne imevät kapillaarisesti kosteutta. Sementtipitoisuuden kasvu lisää laastien tiiveyttä (Lähdesmäki et al. 2014, s. 297). Epäorgaanisissa laasteissa laastin ominaisuudet määräytyvätkin sementin ja kalkin seossuhteiden mukaan.

Sementtilaastien ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä niihin polymeerejä. Tällaisia sementtilaasteja kutsutaan polymeerimodifioituiksi sementtilaasteiksi. Polymeerien osuus on tyypillisesti noin 3-5 % polymeerimodifioitujen sementtilaastien massasta (Lutz & Bayer 2010, s. 568). Polymeerit muodostavat laastiin yhtenäisen verkkomaisen rakenteen, joka muodostuu vasta laastin kuivuessa (Chandra & Ohama 1994, s. 174-176).

Polymeerit parantavat tuoreen laastin työstettävyyttä, lisäävät ilman ja veden pysyvyyttä sekä vähentävät erottumista. Ne kuitenkin hidastavat laastin sitoutumista. (Chandra & Ohama 1994, s. 111-112) Polymeerit parantavat vastaavasti sitoutuneiden laastien veto- ja taivutuslujuutta, muodonmuutoskykyä, joustavuutta, tartuntakykyä alustaan, iskunkestävyyttä, kulutuksenkestävyyttä ja pakkasenkestävyyttä sekä pienentävät laastien vedenimukykyä, vesihöyrynläpäisevyyttä ja huokoisuutta (Chandra & Ohama 1994, s. 111-112; Lutz & Bayer 2010, s. 546-548 ja s. 567; Ohama 1998, s. 191-192). Orgaanisten sideainneiden ominaisuuksiin kuuluu myös niiden muuttuminen hauraammiksi lämpötilan laskeessa alle niiden lasittumislämpötilan (Ohama 1998, s. 204). Tämän takia polymeerejä sisältävillä laasteilla, joilta vaaditaan hyvää halkeamakestävyyttä ja sitkeyttä, tulee olla alhainen lasittumislämpötilan (Caimi et al. 2018, s. 2). Kun lämpötilan laskee alle lasittumislämpötilan, laastien kimmokerroin voi kasvaa monikymmenkertaiseksi (Orantie 1987, s. 26-27). Polymeerejä sisältävät laastit menettävät myös lujuuttaan ollessaan pitkään kosteusrasituksen vaikutuksen alaisia (Ohama 1998, s. 200). Polymeerimodifioitujen laastien lämpölaajenemiskertoimet ovat hieman suurempia tai yhtä suuria kuin sementtilaastien (Ohama 1998, s. 199). Koska UV-säteily vanhentaa polymeerejä, polymeerimodifioitujen sementtilaastien UV-säteilyn kestävyttä on tutkittu. Grönroos & Huovinen (2001, s. 57) eivät havainneet polymeerimodifioitujen sementtilaastien vaurioituvan UV-säteilystä.

Orgaanisissa laasteissa polymeerit parantavat laastien lujuutta, muodonmuutoskykyä, joustavuutta, iskunkestävyyttä, kulutuksenkestävyyttä ja pakkasenkestävyyttä sekä pienentävät laastien vedenimukykyä ja vesihöyrynläpäisevyyttä polymeerimodifioitujen sementtilaastien tapaan. Niiden työstettävyys voi kuitenkin olla heikompaa suuren viskositeetin takia verrattuna sementtilaasteihin. Lisäksi niiden kutistuma voi olla 5-10 kertaa suurempi kuin sementtilaastien. (Chandra & Ohama 1994, s. 136-143)

Sekä orgaanisissa että epäorgaanisissa laasteissa on sideaineen lisäksi aina myös runkoainesta. Runkoaineksen osuus laastien tilavuudesta on moninkertainen verrattuna sideaineeseen (Lahdensivu 2005, s. 27). Vaikka laastin lujuuden kehitys ja muut materiaaliominaisuudet riippuvat pitkälti laastin sideaineista, on runkoaineksella suuri merkitys sekä laastin että rappauksen ominaisuuksiin. Runkoaineksen raekokojakauma ja -muoto vaikuttaa muun muassa laastin työstettävyteen sekä rappauksen ulkonäköön, kutistumisoimaisuuksiin sekä halkeilukäyttäytymiseen. (Lutz & Bayer 2010, s. 548)

Laasteissa käytetään polymeerien lisäksi pieniä määriä muita lisäaineita, joiden tarkoitus on parantaa laastin ominaisuuksia, kuten työstettävyttä, huokoisuutta ja sitoutumiskäyttäytymistä (Lutz & Bayer 2010, s. 548). Lisäaineina käytetään muun muassa huokostimia, hidastimia, hydrofobisoivia aineita ja kuituja. Huokostimilla parannetaan laastien pakkasenkestävyyttä, mutta ne parantavat myös laastien työstettävyttä. Hidastimilla lisätään laastien työstettävyysaika ja parannetaan työstettävyttä. (Lähdesmäki et al. 2014, s. 297) Hidastimien käyttö kasvattaa kuitenkin laastin plastisen halkeilun mahdollisuutta. Muita lisäaineita ovat esimerkiksi hydrofobisoivat aineet sekä kuidut. Hydrofobisoivilla aineilla laastista saadaan vettä hylkivämpiä, mutta laastien vesihöyrynläpäisevyys ei muutu. Kuidulla voidaan estää laastien mikrohalkeilua sekä parantaa laastin vetolujuutta, sitkeyttä ja iskunkestävyyttä. (Lutz & Bayer 2010, s. 552)

Laastien materiaaliominaisuudet, kuten lujuus, voivat jäädä puutteelliseksi esimerkiksi sekoituksesta, esivalmisteluista, työmenetelmistä, jälkihoidosta ja olosuhteista johtuen. Jotta ominaisuudet muodostuvat halutunlaisiksi, tulee laastien sekoituksessa noudattaa valmistajien ohjeita vesimäärästä, sekoitusajoista ja -kerroista sekä laastin käyttöaikoja (Lahdensivu et al. 2016, s. 39).

2.1.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien laastit

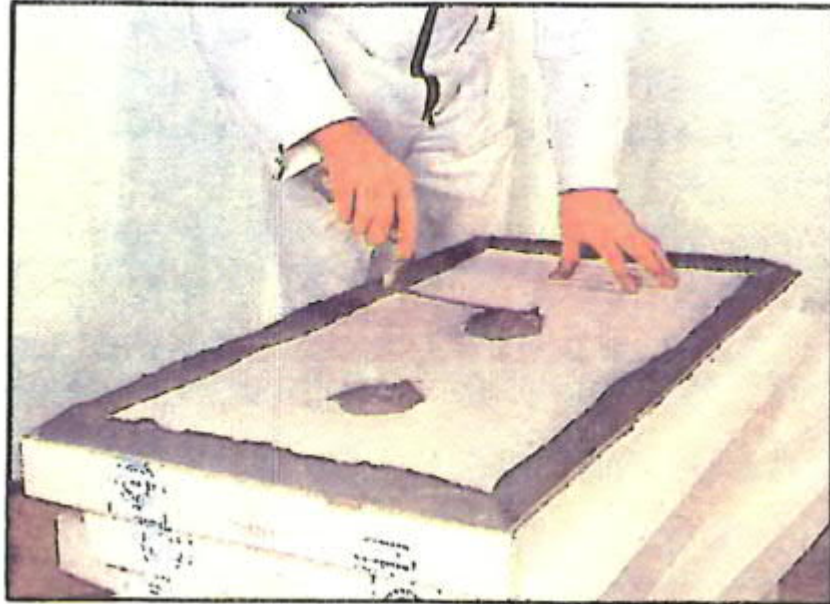
Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään laasteja sekä verkotus- että liimalaastina. Verkotuslaasti toimii alustana pinnoitteelle, ja se vahvistetaan rappausverkolla. Liimalaastia käytetään lämmöneristeiden kiinnityksessä alusrakenteeseen.

Verkotuslaastit ovat nykyisin yleensä polymeerimodifioituja sementtilaasteja. Käytössä on myös täysin orgaanisia laasteja. (Lahdensivu et al. 2016 s. 11) Verkotuslaasti määrää yhdessä rappausverkon kanssa rappauksen halkeilukäyttäytymisoimaisuuksien, joten sen kerrospaksuuden tulisi olla paksumpi kuin pinnoitteen. Materiaalitoimittajien ohjeita

ohuempi verkotuslaastikerroksen paksuus lisää rappauksen halkeilua, koska rappauksen vetokestävyys ei ole testatunlainen. Vastaavasti ohjeita suurempi verkotuslaastikerroksen paksuus kasvattaa rappauksen vetokestävyyttä, jolloin se voi ylittää rappausverkon vetokestävyuden. Tällöin laastin haljetessa myös rappausverkko katkeaa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 25-26) Laastin vetokestävyys vaikuttaa sekä laastin vetolujuus että verkotuslaastikerroksen paksuus. Verkotuslaastikerrosten paksuudet ovat järjestelmäkohtaisia. Nykyisin järjestelmissä suositeltavat kerrospaksuudet eivät ole kuitenkaan huomattavasti muuttuneet ensimmäisistä järjestelmistä. Halkeilun lisäksi liian ohut verkotuslaastikerroksen paksuus aiheuttaa kiinnikkeiden ja lämmöneristesaumojen läpikuultavuutta.

Verkotuslaasti levitetään lämmöneristeen päälle teräslastalla tai ruiskulla yhteen tai kahteen kertaan. Käytettäessä kahta verkotuslaastikerrosta levitetään toinen rappauskerros ensimmäisen kerroksen päälle ”märkää märälle” -periaatteen mukaan. (Lahdensivu et al. 2016, s. 11) Liiallinen laastin kuivuminen kerrosten välissä heikentää laastikerrosten välistä tartuntaa.

Liimalaastit ovat yleensä sementtipohjaisia runsaasti polymeerejä sisältäviä laasteja. Niiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat laastin hyvä tartuntakyky sekä lämmöneristeeseen että alusrakenteeseen. (Lahdensivu et al. 2016, s. 11) Liimalaasti levitetään nykyisin yhtenäisenä kerroksen yleensä lämmöneristeen taustapintaan, mutta se voidaan levittää myös alusrakenteen ulkopintaan (Lahdensivu et al. 2016, s. 35). Ensimmäisissä järjestelmissä liimalaasti levitettiin ainoastaan lämmöneristeiden reunoille sekä pistemäisesti keskelle niin, että noin 40-70 % eristepinnasta peittyi laastiin. Tällöin liimalaastikiinnityksen lisäksi kiinnityksessä käytettiin aina myös mekaanisia kiinnikkeitä. (Vesterinen 1991, s. 26; Hytönen 1997, s. 9) Yhtenäistä liimalaastikiinnitystä on alettu käyttää 2000-luvulla, jolloin mekaanisten kiinnikkeiden käytöstä on myös luovuttu osassa järjestelmistä. Ku-
vassa 5 on esitetty lämmöneristeiden pistekiinnitys.



Kuva 5: Lämmöneristeiden pistekiinnitys oli käytössä ennen 2000-lukua. Pistekiinnityksessä liimalaasti levitettiin ainoastaan lämmöneristeen reunoille ja pistemäisesti keskelle. (Kuva: Vesterinen 1991, s. 25)

Ohutrappaus-eristejärjestelmien sementtilaasteihin lisätään runsaasti polymeerejä, koska yksinään sementtilaastilla saadaan huono tartunta esimerkiksi polystyreeniin ja betoniin (Lutz & Bayer 2010, s. 546). Suomessa markkinoilla olleissa järjestelmissä on käytetty sekä yksi- että kaksikomponenttisiä polymeerimodifioituja sementtilaasteja. Nykyisin järjestelmissä käytettävät laastit ovat kuitenkin yksikomponenttisiä, koska kaksikomponenttisissä laasteissa sideaineiden sekoittuminen keskenään on epävarmaa (Lutz & Bayer 2010, s. 568).

2.1.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien laastit

Paksurappaus-eristejärjestelmien rappaus muodostuu pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta. Käytetyt laastit ovat kalkkisementtilaasteja. Kuten kovalle alustalle tehdyssä kolmikerosrappauksessa, käytetyn laastin kimmokertoimen tulee pienentyä siirryttäessä sisältä ulospäin (Lahdensivu et al. 2016, s. 15; Lutz & Bayer 2010, s. 562). Tämä tarkoittaa, että laastien kalkkisuhde kasvaa ulospäin siirryttäessä. Järjestelmissä pohja- ja täyttörappauslaastit voivat olla myös samaa tuotetta.

Pohjarappauksella luodaan alusta täyttörappaukselle. Täyttörappauksella vastaavasti tasataan pohjarappauksen epätasaisuudet, jotta saadaan tasainen alusta pintarappaukselle. (Lahdensivu et al. 2016, s. 15) Pohjarappaus pitää kastella mattakosteaksi ennen täyttörappauksen levittämistä, jotta alusta ei ime tuoreen laastin kosteutta. Alusta ei saa olla kuitenkaan liian kostea, jotta tartunta pääsee syntymään. Sekä pohja- ja täyttörappauskerrosten levittämisen jälkeen laasti tulee pitää kosteana joitakin päiviä. Laastin liian nopea

kuivuminen alentaa laastin lujuutta, lisää rappauksen vedenimukykyä ja aiheuttaa rappauksen halkeilua. Täyttörappauksen levittämisen jälkeen sen pinta oikaistaan. Tämän jälkeen pintaa työstetään laudalla tai sokalla, jotta saadaan riittävän karkea pinta pintarappauksen tartunnalle. Liiallinen työstö voi kuitenkin aiheuttaa pohjarappauslaastin erottumisen, jolloin pintarappauksen tartunta jää heikoksi. (Lahdensivu et al. 2016, s. 65-67)

Pintarappauksella luodaan rappaukseen halutunlainen ulkonäkö. Pintarappaus voidaan joko maalata tai se voi toimia sellaisenaan rappauksen lopullisena pintana, jolloin käytetään tehdasvärjättyjä jalolaasteja. Pintarappauksen ulkonäköön voidaan vaikuttaa runkoaineksen raakoilla sekä työmenetelmillä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 15) Käytettäessä jalolaasteja tulee rappauksen aikana ottaa huomioon olosuhteet, koska epäorgaanisilla laasteilla on härme- ja kirjavuusriski, joita voidaan välttää täyttörappauksen oikealla kosteuspitoisuudella ja oikeilla rappausolosuhteilla.

Jalolaastilla toteutetun rappauksen pinta voi olla esimerkiksi roiske-, hierto- tai piirtopintainen. Hiertopintaisessa rappauksessa on riskinä rappauksen liiallinen hierto, jolloin laasti pääsee erottumaan tai rappaus kuivuu epätasaisesti, jolloin rappaukseen muodostuu laikkuja (Lahdensivu 2005, s. 33). Roiskepintaisessa rappauksessa on riskinä epätasainen ruiskutusjälki, joka voi johtua ruiskutus suunnan, -etäisyyden ja -paineen muutoksista. Muutokset voivat johtua esimerkiksi rakennustelineistä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 68-69)

2.2 Pinnoitteet ja maalit

Pinnoitteiden ja maalien tarkoitus on antaa julkisivulle halutunlainen ulkonäkö. Lisäksi sillä on suuri merkitys rakenteen kosteusteknisessä toiminnassa. Pintakäsittelyn tulee suojata rappauslaasteja ja muuta rakennetta ulkopuoliselta kosteudelta etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmissä sekä mahdollistaa rakenteen kosteuden kuivuminen. Vesihöyryavoimet pinnoitteet mahdollistavat rappauksen ja rakenteen nopeamman kuivumisen diffuusion avulla ja ne vähentävät kondensaation riskiä kylminä vuodenaikoina. Pinnoitteelta ja maaleilta edellytetään myös hyvää tartuntaa alustaan sekä sitkeyttä.

Pinnoitteet ovat rapattavia tuotteita, jotka sisältävät myös runkoainesta. Maalit vastaavasti muodostavat ohuen kerroksen rappauksen pintaan, ja niitä voidaan levittää ruiskulla mutta myös telalla. Rappauksen tulee olla kuiva ennen kuin rappaus pintakäsitellään, jotta pinnoite tai maali pystyy kostuttamaan alustan ja muodostamaan tartunnan siihen (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 56).

2.2.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien pinnoitteet ja maalit

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään aina pinnoitetta tai maalia, koska niillä merkittävä rooli koko järjestelmän kosteusteknisessä toiminnassa. Järjestelmissä käytettävät pinnoitteet ovat tyypillisesti joko keinohartsi- tai silikonihartsipinnoitteita. Polymeerejä

sisältäviä sementtilaasteja on käytetty myös pinnoitteena 2000-luvun alkuun saakka. Rappauksen uloin pinta voidaan käsitellä myös silikaatti-, silikoniharts- tai keinohartsimaaleilla. (Lahdensivu et al. 2016, s. 13-14)

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä pintakäsittelyn tulee olla tiivis, jotta se ehkäisee ulkopuolisen kosteuden, kuten viistosateen, imeytymisen verkotuslaastiin ja siten tunkeutumisen syvemmälle rakenteeseen. Samalla pintakäsittelyn tulee olla riittävän vesihöyryavoin, jotta verkotuslaasti sekä muu ulkoseinärakenne pääsevät kuivumaan diffuusion avulla (Lahdensivu et al. 2016, s. 13). Pinnoitekerroksen paksuuden tulee olla valmistajan ilmoittamien ohjeiden mukainen, jotta rakenne toimii kosteusteknisesti oikein. Liian paksu pinnoitekerros kasvattaa rappauksen taakse tiivistyvän kosteuden määrää. Vastavasti liian ohut pinnoitekerros lisää viistosateen imeytymistä verkotuslaastiin. Lisäksi liian ohut pinnoitekerros voi aiheuttaa pinnan värivirheitä.

Silikonihartsipinnoitteet ja -maalit ovat hydrofobisia. Hydrofobisuus riippuu kuitenkin silikonihartsin määrästä. (Lähdesmäki et al. 2014, s. 298) Silikonihartsipinnoitteet ovat myös suhteellisen vesihöyryavoimia. Niiden vesihöyrynläpäisevyys on lähellä epäorgaanisten laastien vesihöyrynläpäisevyyksiä (Lähdesmäki et al. s. 297-298). Ne kestävät hyvin UV-säteilyä ja muita vanhentavia aineita, kuten happoja ja rasvoja. Ne ovat myös joustavia ja niillä saadaan hyvä tartunta erilaisiin pintoihin. (Moretto et al. 2000, s. 701-702) Tiivistysmassat tarttuvat kuitenkin huonosti silikonihartsipinnoitteisiin (Lahdensivu et al. 2016, s. 67). Silikonihartsipinnoitteiden kanssa käytettävien tiivistysmassojen tulisi olla silikonipohjaisia, jotta massa pystyy muodostamaan tartunnan pinnoitteeseen. Silikonihartsipinnoitteet sisältävät aina pienen määrän akryyliä, koska silikoniharts ei itsessään pysty sitoutumaan (Fridell Anter et al. 2004, s. 102). Silikonihartsit kestävät huonosti emäksiä (Zhang et al. 2018, s. 1919).

Keinohartseja ovat esimerkiksi akryyli-, alkydi- ja epoksihartsit. Markkinoilla on sekä puhtaita keinohartsipinnoitteita että silikonihartsipinnoitteita, joihin on lisätty keinohartseja dispersiolla. (Moretto et al. 2000, s. 700) Keinohartsit eivät kestä yhtä hyvin UV-säteilyä kuin silikonihartsit. Parhaiten keinohartseista UV-säteilyä kestävä akryylihartsit. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 101) Keinohartsipinnoitteet eivät myöskään läpäise yhtä hyvin vesihöyryä kuin silikonihartsipinnoitteet. Silikonihartsipinnoitteiden vesihöyrynläpäisevyys voi olla useita kymmeniä tai jopa satoja kertoja suurempi kuin keinohartsipinnoitteiden (Lähdesmäki et al. 2014, s. 298). Orgaaniset pinnoitteet ovat orgaanisten laastien tapaan joustavia ja sitkeitä. Lämpötilan laskiessa kuitenkin alle niiden lasittumislämpötilan ne muuttuvat hauraiksi.

Silikaattimaalit ovat epäorgaanisia. Ne ovat mekaanisesti kestäviä, sitkeitä ja hyvin vanhenemista kestäviä (Lagaly et al. 2000, s. 557). Silikaattimaalit ovat hydrofiilisiä, minkä saa aikaan silikaattien sisältämä silikayhdiste (SiO_2) (Flörke et al. 2008, s. 422 ja s. 462). Ne ovat myös suhteellisen vesihöyryavoimia (Lähdesmäki et al. 2014, s. 298).

Pinnoitteisiin ja maaleihin lisätään sideaineen lisäksi pigmenttejä, kuten titaanidioksidia (TiO_2) ja kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). Pigmenttien tehtävä on antaa pinnoitteille ja maaleille niiden väri, mutta ne vaikuttavat myös pinnoitteen ominaisuuksiin, kuten UV-säteilyn kestävyteen (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 18-19). Titaanidioksidi parantaa esimerkiksi silikaatti- ja silikonihartsipinnoitteiden pitkäaikaiskestävyyttä (Moretto et al. 2000, s. 689; Lagaly et al. 2000, s. 566).

Pinnan lopullinen ulkonäkö riippuu pinnoitteen runkoaineuksen raakoista ja työmenetelmistä (Lahdensivu et al. 2016, s. 13). Jotta vältetään pinnoituksen harvarakeisuutta, ja saadaan aikaan tasainen lopputulos, ruiskutus olisi hyvä tehdä kahteen kertaan. Lisäksi ruiskutuskulman, -etäisyyden ja -paineen tulisi pysyä myös samana. (Lahdensivu et al. 2016, s. 42-44). Kuvassa 6 julkisivussa näkyy selvästi vaakasuuntaiset muusta pinnasta eroava viirut, jotka ovat syntyneet työntoteutuksessa. Kuvassa 7 on esitetty pinnoitteen harvarakeisuutta.



Kuva 6: Julkisivupinnasta erottuu vaakasuuntaiset viirut, jotka ovat syntyneet työntoteutuksessa.



Kuva 7: Pinnoitteen harvarakeisuutta.

Kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi pinnoitteiden alla käytetään pohjustetta, jonka on tarkoitus yhdessä pinnoitteen kanssa hidastaa kosteuden imeytymistä rakenteeseen. Pohjuste sävytetään samaan sävyyn pinnoitteen kanssa joissakin järjestelmissä, jolloin se auttaa muodostamaan tasavärisen julkisivupinnan. Pohjustetta on suositeltu käy-

tettäväksi järjestelmissä jo 1990-luvun alusta lähtien (Suvanto 1993, s. 23). Koska pohjuste hidastaa kosteuden imeytymistä verkotuslaastiin, ehkäisee se myös pinnoitteen liian nopeaa kuivumista rappaukseen työn aikana.

2.2.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien pinnoitteet ja maalit

Kaikissa paksurappaus-eristejärjestelmissä ei käytetä pinnoitteita tai maaleja. Valmis julkisivupinta voidaan saada aikaan myös jalolaasteilla. Paksurappaus-eristejärjestelmissä pintakäsittely voi olla tiivis, kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä, tai huokoinen, jolloin pintakäsittely ei suojaa rappautta ulkopuoliselta kosteudelta.

Maalatuissa paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään pääsääntöisesti silikaattimaaleja. Lisäksi voidaan käyttää muita hyvin vesihöyryä läpäiseviä maaleja, joita ovat esimerkiksi kalkki-, kalkkisementti- ja silikonihartsimaalit. (Lahdensivu et al. 2016, s. 17) Pinnoitetuissa paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään silikonihartsipinnoitteita (Lahdensivu et al. 2016, s. 67). Orgaanisia pinnoitteita ja maaleja, joilla on huono vesihöyrynläpäisevyys, tulisi välttää, koska ne muodostavat rakenteen pintaan tiiviin kalvon, joka estää rappauksen ja rakenteen kuivumisen.

2.3 Rappausverkot ja vahvikkeet

Rappaus vahvistetaan sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä rappausverkolla. Rappausverkon tehtävä on vahvistaa rappautta ja ehkäistä rappauksen halkeilua silloittamalla rappauksen vetovoimat halkeamakohtaan yli. Rappausverkko pienentää halkeamaleveyksiä, mutta samalla halkeamaväli tihenee.

Rappauksen vahvistamisessa käytetään rappausverkkojen ohella myös erilaisia vahvikkeita. Niiden tehtävä on rappausverkon tapaan vahvistaa rappautta.

2.3.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien rappausverkot ja vahvikkeet

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappausverkko muodostaa yhdessä polymeerejä sisältävien laastien kanssa rappauksesta sitkeän ja joustavan rakenteen. Järjestelmissä käytettävät rappausverkot ovat muovipinnoitettuja tai muulla tavoin alkalinkestäviä lasikuituverkkoja (Lahdensivu et al. 2016, s. 13). Alkalinen ympäristö aiheuttaa suojaamattoman lasikuituverkon lujuuden heikkenemistä, joka johtuu lasin Si-O-Si -sidosten katkeamisesta (Arabi et al. 2018, s. 1). Alkalinkestävyys onkin yksi rappausverkon tärkeimmistä ominaisuuksista yhdessä verkon vetokestävyuden kanssa. Alkalinkestäviä lasikuituverkkoja on käytetty jo ensimmäisissä Euroopassa käytetyissä järjestelmissä (Lutz & Bayer 2010, s. 568) Vanhennettujen rappausverkkojen vetokestävyys tulee olla ETAG 004 -ohjeen (2013, s. 78) mukaisessa testauksessa yli 20 N/mm.

Rappauksen vahvistamiseen käytetään normaalisti yhtä rappausverkkoa. Kun rakenteesta halutaan kestävämpi, voidaan käyttää joko kahta rappausverkkoa tai niin sanottua panssarirappausverkkoa, jonka vetokestävyys on suurempi kuin tavallisen rappausverkon. Panssariverkkoa ja kahta rappausverkkoa on käytetty jo ensimmäisissä eristerappausjärjestelmissä (Vesterinen 1991, s. 24). Nykyisin yhtä rappausverkkoa käytettäessä verkon oikeana sijaintina pidetään verkotuslaastin puolen välin ja uloimman kolmanneksen väliä, jolloin se ehkäisee tehokkaimmin rappauksen ulkopinnan halkeilua. Rappausverkko tulee asentaa kammattuun verkotuslaastiin ennen laastin nahkoittumista. Asennuksessa rappausverkkoon syntyneet rypyt pienentävät rappauksen vetokestävyyttä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 40-41) Rappausverkot limitetään keskenään noin 100 mm. Tätä limityspi-tuutta on suositeltu jo ensimmäisissä järjestelmissä (Vesterinen 1991, s. 25; Hytönen 1997, s. 10).

Aukkojen nurkissa käytetään vinosti asennettua lisärappausverkkoa, jonka tehtävä on ehkäistä nurkkiin syntyviä jännityspiikkejä. Rakennusten ulko- ja sisänurkkien sekä ikkuna- ja ovipieliin vahvistamiseen käytetään kulmavahvikkeita, jotka voivat olla pelkästään lasikuituverkosta valmistettuja tai niiden kulmassa voi olla muovinen profiili. (Lahdensivu et al. 2016, s. 39) Lisärappausverkkoja sekä kulmavahvikkeita on käytetty ohutrappaus-eristejärjestelmissä niiden alkuvuosista lähtien (Vesterinen 1991, s. 22; Hytönen 1997, s. 10).

2.3.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien rappausverkot ja vahvikkeet

Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappausverkon tarkoitus on rappauksen lujittamisen ja halkeilun ehkäisemisen lisäksi rappauksen kiinnittäminen alusrakenteeseen yhdessä mekaanisten kiinnikkeiden kanssa (Lahdensivu et al. 2016, s. 63). Käytetyt rappausverkot ovat kuumasinkittyjä teräsverkkoja (Lahdensivu et al. 2016, s. 16).

Rappausverkon oikeana sijaintina pidetään pohja- ja täyttörappauksen puolen välin ja uloimman kolmanneksen väliä. Verkon tulee sijaita täyttörappauksen puolella. Verkko kiinnitetään mekaanisiin kiinnikkeisiin ja asemoidaan oikein välikkeiden avulla ennen pohjarappauksen levittämistä. Verkot jatketaan 50-100 mm, ja ne kiinnitetään toisiinsa sinkilöillä. Aukkojen nurkissa käytetään lisärappausverkkoa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 63) Lisärappausverkkoja on käytetty järjestelmien alkuaajoista lähtien (Piironen et al. 2003, s. 26). Aukkojen ja rakennuksen nurkissa käytetään taivutettua rappausverkkoa tai kulmaprofiileja vahvistamaan rappausta. Kulmaprofiileja ei saa kiinnittää rappausverkkoon.

2.4 Muut rappauksen varusteet ja mekaaniset kiinnikkeet

Nykyisin etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmiin kuuluu monia erilaisia materiaali- ja järjestelmätoimittajien kehittämiä varusteita, joiden tehtävä on helpottaa rakenteen toteutettavuutta sekä parantaa niiden toimivuutta, kestävyyttä ja ulkonäköä. Tällaisia varusteita ovat muun muassa erilaiset aloitus- ja päättölistat, kulmavahvikkeet sekä ikkuna-, sokkeli- ja liikuntasaumaprofiilit.

Erilaisilla pellityksillä on myös ratkaiseva vaikutus järjestelmien toimivuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen. Järjestelmiin ei kuulu valmiiksi peltejä, vaan pellit suunnitellaan ja toteutetaan jokaiseen kohteeseen yksilöidysti.

Eristerappausjärjestelmissä käytetään mekaanisia kiinnikkeitä lämmöneristeiden kiinnittämiseen alusrakenteen. Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappaus kiinnitetään samoilla kiinnikkeillä alusrakenteeseen.

2.4.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien listat, profiilit, liikuntasumat ja pellitykset

Ohutrappaus-eristejärjestelmiin on kehitetty monia erilaisia listoja sekä profiileja, joiden tehtävä on parantaa rakenteen pitkäaikaiskestävyyttä, toimivuutta ja ulkonäköä sekä helpottaa niiden toteutettavuutta. Listojen ja profiilien avulla rappausverkko saadaan jatkettua nurkkien ympäri ja ankkuroitua rappauksen reunoilla. Kvande et al. (2018, s. 10) huomasivat tutkimuksessaan, että eristerappausjärjestelmät vaurioituvat säärasituskokeissa herkimmin reunoistaan ja nurkistaan. Tämän takia listoilla ja profiileilla on tärkeä merkitys järjestelmien kestävyuden kannalta. Materiaali- ja järjestelmätoimittajilla on hieman toisistaan poikkeavia nimityksiä listoille sekä profiileille, mutta niiden käyttötarkoitukset ovat pitkälti samanlaisia.

Lämmöneristeiden tukemiseen käytetään sokkeliprofiileja, joita on käytetty jo ensimmäisissä ohutrappaus-eristejärjestelmissä (Vesterinen 1991, s. 26; Hytönen 1997, s. 8). Nykyisin käytettävät sokkeliprofiilit ovat rei'itettyjä, jotta kosteus pääsee poistumaan rakenteesta. Niitä valmistetaan alumiinista ja muovista. Vanhemmissa järjestelmissä profiilit eivät ole olleet rei'itettyjä. Sokkeliprofiilit kiinnitetään toisiinsa muovisilla liitospaloilla, joiden tarkoitus on vähentää sokkeliprofiilien liitoskohtien halkeilua. Alumiinilla on huomattavasti suurempi lämpölaajenemiskerroin kuin laasteilla tai esimerkiksi teräksellä. Tällöin alumiinisilla sokkeliprofiileilla on suuremmat lämpöliikkeet kuin rappauksella. Kvande et al. (2018, s. 10) mukaan sokkeliprofiilin puute aiheuttaa aina suuren kosteusrasituksen rappaukselle sekä laastin pakkasrapautumisen.

Nykyisissä järjestelmissä sokkeliprofiilin kanssa käytetään aloituslistaa. Aloituslistalla rappaus saadaan ankkuroitua sokkeliprofiiliin. Lisäksi aloituslista muodostaa tippanokan

rappauksen alareunaan, jolloin julkisivupintaa pitkin valuva vesi ei pääse imeytymään verkotuslaastiin. Aloitustaloja on alettu käyttää 2000- ja 2010-luvun taitteessa.

Rappauksen päättämiseen ja rappausverkon ankkurointiin käytetään erilaisia päättölistoja, joita ovat esimerkiksi ikkuna- ja tuuletusprofiilit. Ikkunaliitoksissa käytettävien ikkunaprofiilien tarkoitus on muodostaa tiivis liitos rappauksen ja ikkunakarmin väliin. Jotta ikkunaprofiilin teippipinta tarttuu hyvin ikkuna- tai ovikarmiin, tulee karmin olla puhdas ennen asennusta. Ennen kuin ikkunaprofiilit ovat tulleet markkinoille rappauksen ja ikkunakarmin liitos tiivistettiin saumausmassalla tai saumanauhalla. Päättölistoja on käytetty myös eri väristen tai eri tavalla työstettyjen julkisivupintojen rajapinnassa työsaumana.

Muita ohutrappaus-eristejärjestelmien varusteita ovat esimerkiksi aloitusprofiilit sekä pielilevyt. Aloitusprofiileja käytetään rappauksen sisennyksissä, ja pielilevyillä saadaan valmis rappauspinta ikkunapieliin.

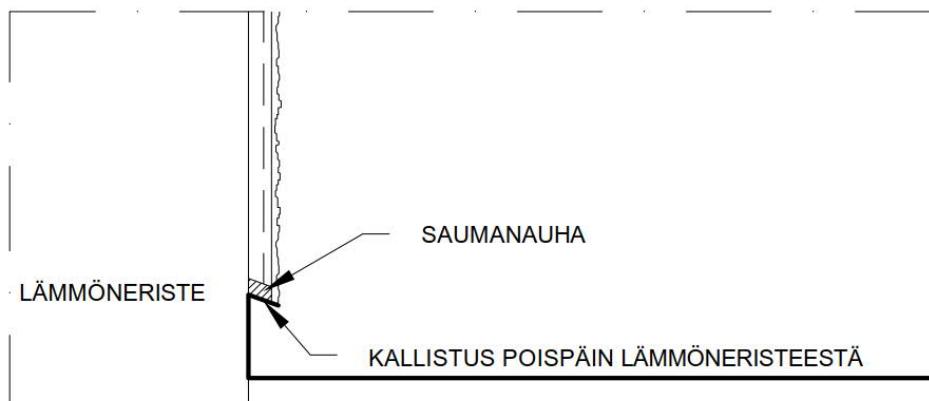
Ohutrappaus-eristejärjestelmät vaativat yleensä liikuntasaumaa ainoastaan rungon liikuntasauojen kohdalle sekä rappauksen liittyessä toiseen julkisivumateriaaliin tai rakennusosaan. Rungon liikuntasaumaa voidaan toteuttaa joko liikuntasaumaprofiileilla tai jälkisaahaamalla. Jälkisaahattuja liikuntasauvoja tulisi välttää, koska silloin saumasta on vaikeampi saada tiivis. Liikuntasaumaprofiilin muodonmuutoskyvyn tulee olla riittävä sauman liikkeisiin nähden, ja niiden tulee kestää pakkasrasitusta sekä UV-säteilyä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 44-45)

Jälkisaahaamalla tehtävät liikuntasaumaa tulisi tehdä verkotuslaastin kovettumisen jälkeen ennen rappauksen pinnoitusta. Sahausten tulee ylittää lämmöneristeisiin asti ja katkaista rappausverkko. Sauman tulee olla riittävän leveä, jotta sauma on mahdollista toteuttaa, ja muodonmuutoksista syntyvät jännitykset eivät vaurioita rappautusta. Sahaattuun saumaan asennetaan paisuva saumanauha tai elastinen saumausmassa. Paisuvan saumanauhan käyttö on suositeltavampaa, koska elastisella saumausmassalla ei välttämättä saada tarpeeksi leveää tartuntapintaa ohueen rappaukseen. (Lahdensivu et al. 2016, s. 45-46) Saumausmassaa käytettäessä tulee se valita myös pinnoitteeseen sopivaksi. Silikonihartsipinnoitteisiin tarttuu parhaiten silikonihartsipohjaiset saumausmassat.

Eri julkisivumateriaalien tai rakenneosien rajapinnassa liikuntasauva toteutetaan paisuvalla saumanauhalla tai elastisella saumausmassalla. Rappauksen reunasta tehdään suora päättölistan avulla. (Lahdensivu et al. 2016, s. 45-46)

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä pelleillä on tärkeä rooli rappauksen kosteusteknisessä toiminnassa. Tärkeimpiä peltejä ovat ikkunoiden vesipellit sekä räystäiden myrskypellit. Räystäällä käytetään myrskypeltejä estämään viistosateen tunkeutuminen julkisivupinnan yli lämmöneristeeseen ja verkotuslaastikerrokseen. Vesipelleille sadevesi ohjataan pois julkisivupinnasta ikkuna-aukon alareunasta siten, ettei se pääse tunkeutumaan rakenteeseen. Jotta vesipellin liittymästä rappaukseen saadaan kosteusteknisesti toimiva, tulee

pellin pään muodostaa rappausreuna, ja pelti tulee asentaa ennen verkotuslaastin levittämistä. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista käyttää rappausreunoja rakenteellisista syistä johtuen. Tällöin vesipellin alla olisi syytä käyttää pinnoitekerrosta, jotta kosteus ei pääse tunkeutumaan rappausalustaan tai imeytymään verkotuslaastiin. Pellin toteutuksessa on syytä kiinnittää huomiota myös siihen, että pellin sisänurkkiin ei synny rakoja tai koloja. Lisäksi pellin tulee olla riittävän kalteva ja ulottua riittävän pitkälle julkisivupinnasta. Kuvassa 8 on esitetty vesipellin rappausreuna. Rappausreuna tulee kallistaa eristeestä poispäin, jotta rappaukseen alareunaan muodostuu tippanokka.



Kuva 8: Vesipellin rappausreuna. Rappausreunan päälle asennetaan saumanauha rappauksen ja pellin liikuntasaumaksi. Rappausreuna kallistetaan poispäin lämmöneristeestä.

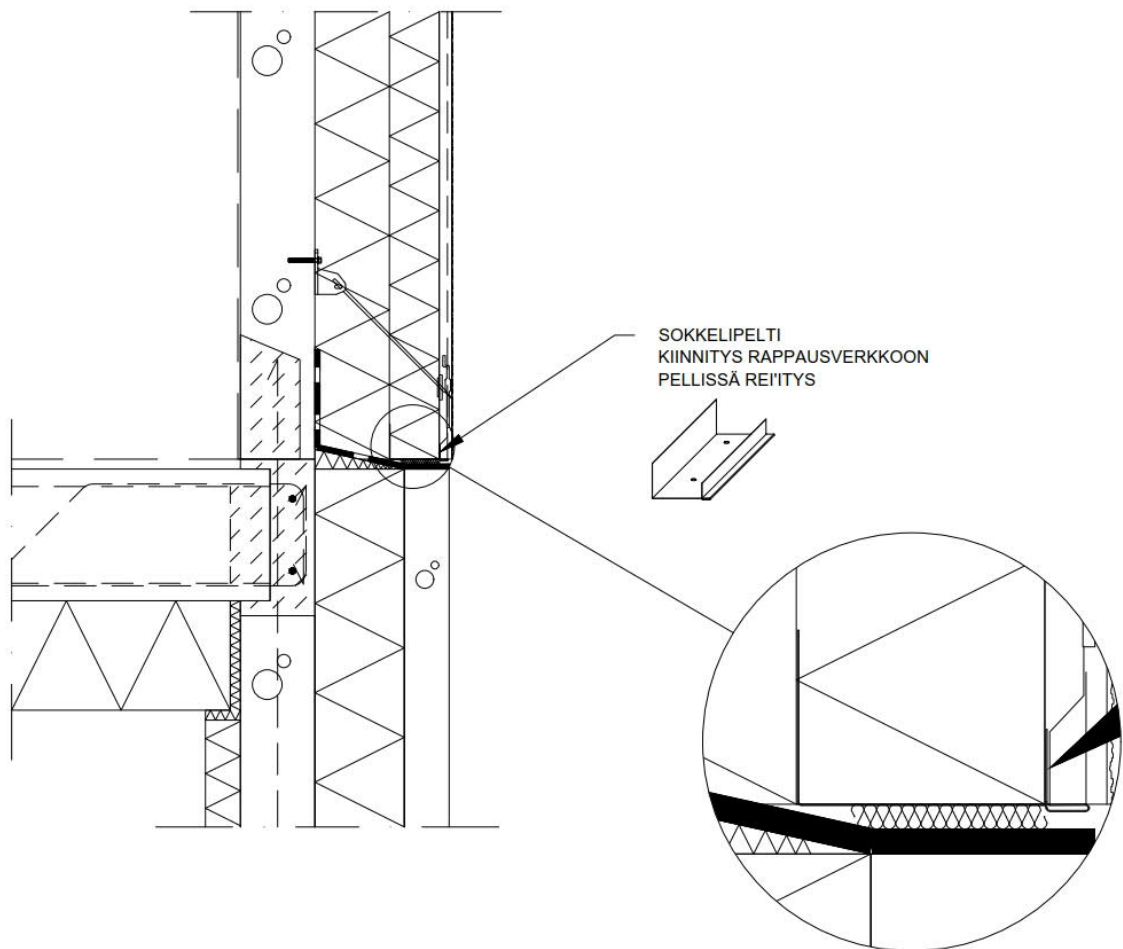
Sekä vesi- että myrskypellin alla lämmöneristeiden yläpinta olisi hyvä rapata ennen peltien asennusta, jotta kosteus ei pääse tunkeutumaan rappausalustaan. Lisäksi pellin ja rappauksen väli tulee tiivistää, jotta kosteus ei pääse tunkeutumaan pellin ja rappauksen välistä rakenteeseen.

2.4.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien listat, profiilit, liikuntasaummat ja pellitykset

Paksurappaus-eristejärjestelmissä ei ole valmiita listoja tai profiileja, kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään kuitenkin samantapaisia pelleistä taivutettuja tarvikkeita. Materiaalitoimittajilla on ohjeita peltien suunnitteluun ja toteuttamiseen.

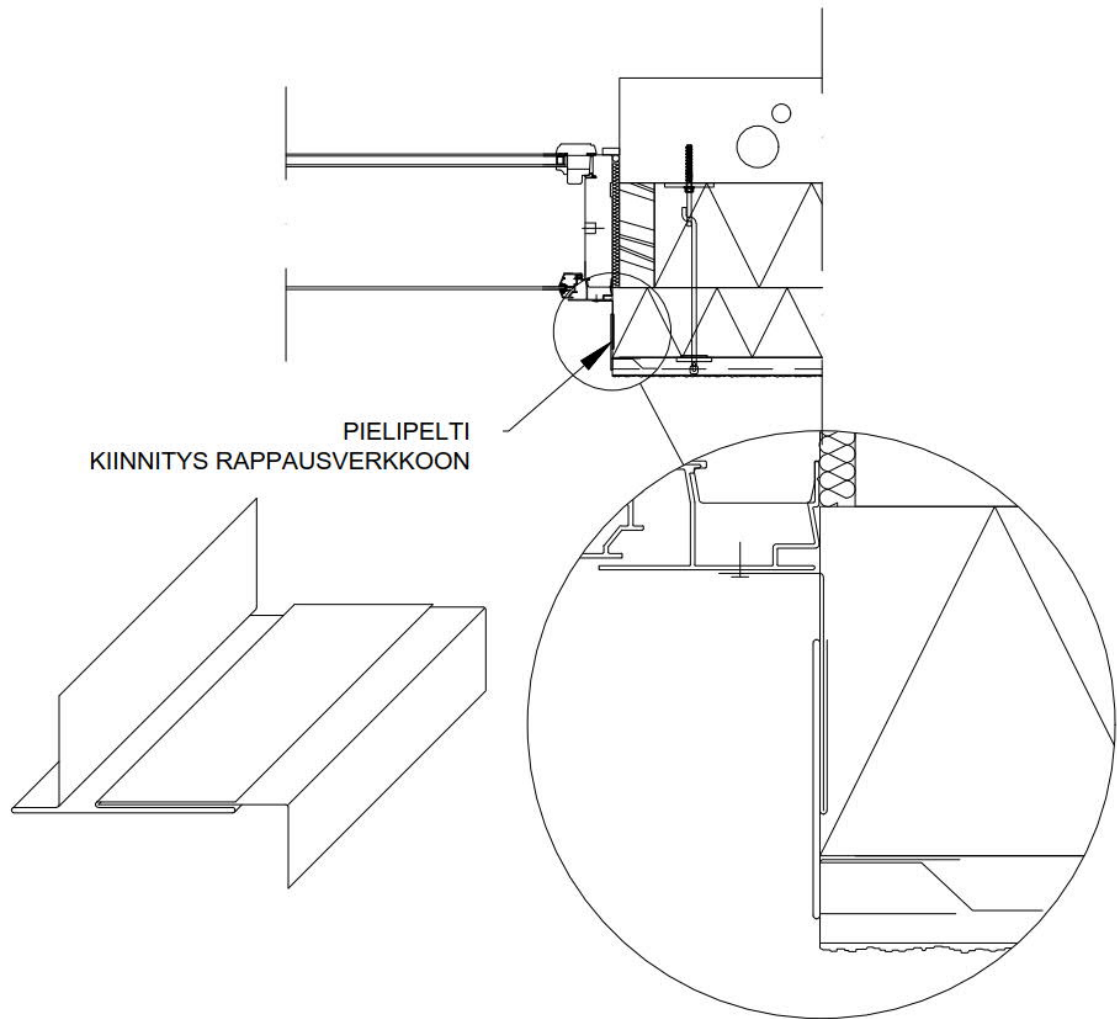
Lämmöneristeiden tukemiseen käytetään rei'itettyä sokkelipeltiä. Nykyisin pellit kiinnitetään rappausverkkoon, jolloin rappauksen painuminen ei aiheuta pakkovoimia rappauksen alareunaan. Vanhoissa järjestelmissä pellit on kiinnitetty alusrakenteeseen, ja ne ovat olleet rei'ittämättömiä. Sokkelipeltejä tai vastaavia tuotteita on käytetty lämmöneristeiden tukemiseen jo järjestelmien alkuajoista. Rei'itettyjä sokkelipeltejä on käytetty jo 1990-luvun alusta, mutta niiden käyttö ei ollut vakiintunut 2000-luvun alkuun tultaessa. (Piiroinen et al. 2003) Pellin reiät tulisi porata pellin yläpinnan puolelta, jotta porauksen

aiheuttama reiän reunojen nousu ei estä kosteuden poistumista pellin päältä. Kuvassa 9 on esitetty sokkelipellin toteutus.



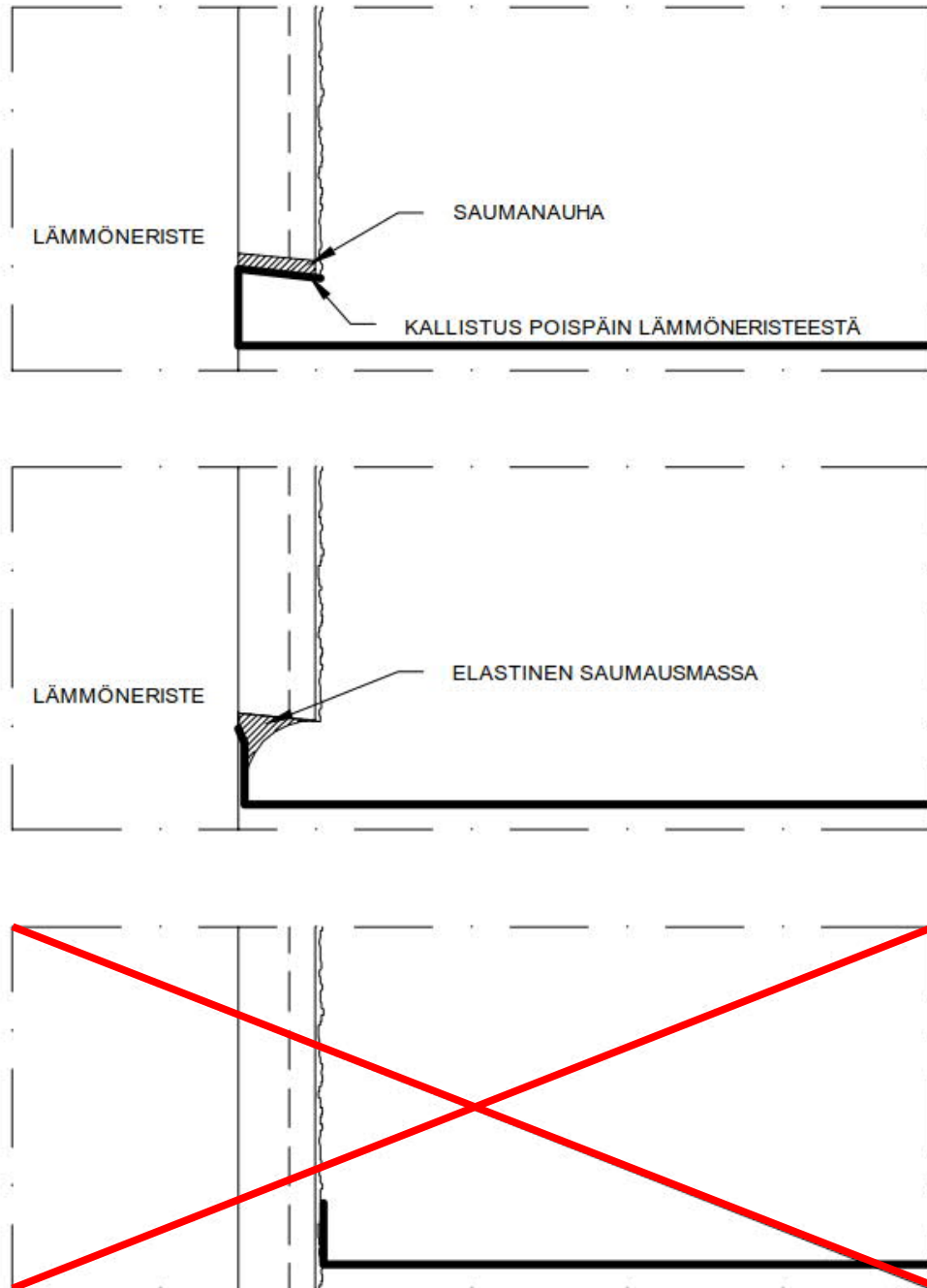
Kuva 9: Sokkelipeltiä käytetään lämmöneristeiden tukemiseen rappauksen alareunassa. Nykyisin materiaalitoimittajat suosittelevat sokkelipellin kiinnitystä rappausverkkoon, jotta rappauksen painuminen ei aiheuta rappaukseen pakkovoimia. Peltien tulisi olla myös rei'itettyjä, jotta rappauksen taakse tunkeutunut vesi pääsee poistumaan rakenteesta. Reiät tulisi porata pellin yläpinnan puolelta.

Paksurappaus-eristejärjestelmissä ikkunan pielet voidaan toteuttaa joko rappaamalla tai pielipellillä. Rapatussa ikkunapielessä rappaus erotetaan ikkunakarmista ikkunaprofiililla, kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Pielipellillä toteutetussa ikkunapielessä pellin tulee sallia rappauksen liikkeet ja olla vesitiivis. Pielipelti toteutetaan kahdesta eri pellistä. Ikkunakarmin kiinnitettävä pelti kiilataan rappausverkkoon kiinnitetyn pellin vaakaan. Kuvassa 10 on esitetty pielipellin toteutus.



Kuva 10: Ikkunan pielipellin toteutus.

Pieli- ja sokkelipelttien lisäksi paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään peltejä ikkunan vesipelteinä sekä räystäään myrskypelteinä. Vesipellit ovat muutoin samanlaisia kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, mutta paksurappaus-eristejärjestelmissä ne voidaan asentaa myös rappauksen jälkeen. Tällöin pellissä ei käytettä rappausreunan yläreunan taitosta, mutta se tulee silti viedä pielen rappauspinnan taakse. Lisäksi tällöin pellin ja rappauksen saumassa käytetään elastista saumausmassaa. Rappauksen alareunan tulee tällöinkin muodostaa tippanokka. Kuvassa 11 on esitetty vesipellin liitos ikkunapieleen molemmilla asennusjärjestyksillä sekä yleinen vääränlainen asennustapa, jossa vesi pääsee tunkeutumaan rappaukseen pintarappauksen ja pellin välistä. Kuvassa 12 on esitetty jälkiasennettuja väärin toteutettuja ikkunapeltejä.



Kuva 11: Ylimmässä kuvassa on esitetty vesipellin toteutus, kun asennus tehdään ennen rappausta. Vesipellin rappausreunan päälle asennetaan saumanauha rappauksen ja pellin liikuntasaumaksi, ja rappausreuna kallistetaan poispäin lämmöneristeestä. Keskimäisessä kuvassa on esitetty vesipellin toteutus, kun asennus tehdään rappauksen jälkeen. Rappauksen alareuna kallistetaan ulospäin, jotta rappaukseen muodostuu tippanokka. Pellin ja rappauksen väliin asennetaan elastinen saumausmassa. Alimmassa kuvassa on esitelty tyypillinen jälkiasennettu pelti, jossa rappaus jatkuu pellin takana. Tapaa ei kuuluisi käyttää, koska sadevesi pääsee tunkeutumaan rappaukseen pellin ja pinnoitteen välistä.



***Kuva 12:** Jälkiasennettuja väärin toteutettuja ikkunapeltejä. Vasemman puoleisessa kuvassa pellin ja pinnoitteen välissä on useita millimetrejä leveä rako.*

Paksurappaus-eristejärjestelmien rappaus vaatii rungon liikuntasaumojen lisäksi omat liikuntasaumat sekä vaaka- että pystysuunnassa 12-15 m välein, jotta rappauksen liikkeet pääsevät tapahtumaan vapaasti. Rappauksen liikkeitä aiheuttavat esimerkiksi laastin kurtistuminen sekä lämpöliikkeet. Liikuntasauvoja käytetään myös rappauksen ulko- ja sisänurkissa sekä rappauksen liittyessä toiseen julkisivumateriaaliin tai rakennusosaan. Liikuntasaumat voidaan toteuttaa joko liikuntasaumaprofiileilla tai jälkisahaamalla. (Lahdensivu et al. 2016, s. 69-70)

Jälkisahaamalla tehtävät liikuntasaumat tehdään pohja- ja täyttörappauksen kovettumisen jälkeen ennen pintarappausta. Sahauksen tulee ylittää lämmöneristeisiin asti ja sen tulee katkaista rappausverkko. (Lahdensivu et al. 2016, s. 70) Sokkelipelti tulee olla myös katkaistu pystysuuntaisen liikuntasauoman kohdalla. Vaakasuuntaisissa liikuntasaumoissa käytetään kaikissa järjestelmissä joko paisuvaa saumanauhaa tai elastista saumausmassaa. Paisuvan saumanauhan käyttö on suositeltavampaa, koska se ei aiheuta rasituksia rappaukselle. Elastista saumausmassaa käytettäessä tulee sauman leveyden olla riittävä, ja massan tulee soveltua käytettäväksi pinnoitteen kanssa. Vanhoissa järjestelmissä pystysuuntaisia liikuntasauvoja ei ole tiivistetty eikä niitä tiivistetä vielä nykyäänkään kaikissa järjestelmissä, jotta saumausmassa ei murtaisi rappausta.

2.4.3 Ohutrappaus-eristejärjestelmien mekaaniset kiinnikkeet

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään muovisia mekaanisia kiinnikkeitä lämmöneristeiden kiinnittämiseen alusrakenteeseen yhdessä liimalaastikiinnityksen kanssa. Nykyisin kaikissa järjestelmissä ei käytetä aina mekaanisia kiinnikkeitä. Niitä käytetään kuitenkin aina levymäisten mineraalivillalämmöneristeiden kanssa (Lahdensivu et al. 2016, s. 12). Järjestelmien alkuaikoina kiinnikkeitä on kuitenkin käytetty aina pisteliimalaastikiinnityksen kanssa (Vesterinen 1991, s. 26; Hytönen 1997, s. 9). Kiinnikkeiden tarkoitus on varmistaa lämmöneristeiden kiinnittyminen alusrakenteeseen, jos liimalaastikiinnitys on epäonnistunut.

Kiinnikkeet muodostuvat jalka- ja kantaosasta. Kiinnikkeet voidaan asentaa joko uppotai pintakiinnityksenä. Uppokiinnike asennetaan lämmöneristeeseen sisään noin 15 mm syvyyteen, kun taas pintakiinnikkeen kanta jää lämmöneristeeseen päälle. Uppokiinnikkeillä estetään kiinnikkeiden läpikuultaminen rappauksen läpi (Lahdensivu et al. 2016, s. 38), jonka takia niiden käyttöön onkin siirrytty aivan viime vuosina. Pintakiinnikkeet voidaan asentaa myös rappausverkon läpi, jolloin ne estävät tuulenimun aiheuttaman rappauksen vetoketjumurron (Lahdensivu et al. 2016, s. 29). Uppokiinnikkeiden päälle asennetaan tulppahattu. Vastaavasti pintakiinnikkeiden kannan ruuvikoloon asennetaan tulppa. Tulppa ja tulppahattu ovat lämmöneristeeseen kanssa samanlaista materiaalia. Pintakiinnikkeisiin voidaan asentaa myös suurempi kantalevy.

2.4.4 Paksurappaus-eristejärjestelmien kiinnikkeet

Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja mekaanisia kiinnikkeitä, joiden tarkoitus on kiinnittää lämmöneristeet ja rappaus alusrakenteeseen. Ne sallivat rappauksen tasosuuntaiset liikkeet (Lahdensivu et al. 2016, s. 16).

Kiinnikkeet muodostuvat ankkurointiosasta, kiinnityshaasta ja lukitussalvasta. Ankkurointiosat ovat teräksisiä tai nykyisin myös muovisia. Ne kiinnitetään alusrakenteeseen ruostumattomilla ruuveilla ennen lämmöneristeiden asentamista. Ankkurointiin kiinnittyy kiinnityshaat, joiden läpi asennetaan lämmöneristeet. Lämmöneristeet kiinnitetään kiinnityshakoihin rengasvälikkeillä, joita käytetään myös rappausverkon asemoinnissa oikeaan asemaan. Lämmöneristeiden asennuksen jälkeen kiinnityshaat vapautetaan noin 45 ° kulmaan (Lahdensivu et al. 2016, s. 63). Vanhoissa rappauksissa kulma on loivempi. Rappausverkon asennuksen jälkeen se kiinnitetään kiinnityshakoihin lukitussalvoilla. Kuvassa 13 on esitetty lämmöneristeiden ulkopinta rappausverkon asennuksen jälkeen.



***Kuva 13:** Lämmöneristeen ulkopinta rappausverkon asennuksen jälkeen. Kuvassa näkyy kiinnikkeiden pyöreä ja muovinen rengasvälike, jonka päällä on pystysuunnassa lukitus-salpa. Rappausverkko asennetaan rengasvälikkeen avulla oikeaan asemaan ja lukitaan paikoilleen lukitussalvalla. Ikkuna-aukon nurkissa näkyy vinoon asennetut lisärappaus-verkot. Rappausverkko on taitettu ikkunapielen ympäri nurkkavahvikkeeksi.*

Kiinnikkeen kiinnityshaan asennuskulmalla on suuri vaikutus rappauksen painumiseen. Rappaus painuu sitä enemmän mitä loivemmassa kulmassa kiinnityshaat ovat.

2.5 Lämmöneristeet

Lämmöneristeiden tehtävä on toimia julkisivujen lämmöneristeenä, rappausalustana, välittää rappaukseen kohdistuneita kuormia alusrakenteeseen ja suojata alusrakennetta vaurioitumiselta, kuten pakkasrapautumiselta. Lämmöneristeellä on myös suuri merkitys eristerappauksen palo-, ääni- ja kosteusteknisessä toiminnassa sekä kestävydessä (Lahdensivu et al. 2016, s. 32 ja s. 57).

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetyt lämmöneristeet ovat joko mineraalivilla- tai solumuovilämmöneristeitä. Lisäksi voidaan käyttää myös eristeyhdistelmiä. Solumuovilämmöneristeet ovat tyypillisesti EPS:iä. Mineraalivillalämmöneristeet voivat olla joko levymäisiä tai lamellivillaa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 12) Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään joko mineraalivillaa tai eristeyhdistelmiä (Lahdensivu et al. 2016, s. 16). Järjestelmissä tulee käyttää ainoastaan järjestelmätoimittajien sallimia eristeitä.

Lamellivilla ja levymäiset lämmöneristeet eroavat toisistaan villan kuitujen suunnan perusteella. Lamellivillassa kuidut ovat kohtisuorassa julkisivutasoon nähden, kun taas levymäisessä mineraalivillassa ne ovat julkisivutasoon suuntaisesti. Tästä syystä lamellivillat ovat puristus-, veto- ja leikkauslujuudeltaan kestävämpiä sekä jäykempiä kuin levymäiset mineraalivillat, mutta niiden lämmönjohtavuus on hieman suurempi. Levymäisissä mineraalivillalämmöneristeissä lämmöneristeen sideaine vaikuttaa enemmän lämmöneristeen lujuuteen kuin lamellivillassa (Zirkelbach et al. 2005, s. 7).

Eristeyhdistelmissä kaksi erilaista lämmöneristettä muodostavat yhdessä lämmöneristekerroksen. Eristeyhdistelmissä uloimman kerroksen tulee soveltua rappausalustaksi (Lahdensivu et al. 2016, s. 12 ja s. 16). Yleensä eristeyhdistelmien tarkoitus on kasvattaa lämmöneristekerroksen lämmönvastusta tai pienentää julkisivun rakennepaksuutta.

2.5.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien lämmöneristeet

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään yleensä lämmöneristeenä levymäistä mineraalivillaa, lamellivillaa tai EPS-lämmöneristeitä. Lisäksi pieniä määriä ohutrappauksia on tehty polyuretaani- (PU), XPS- ja fenolivahtolämmöneristeiden päälle (Lahdensivu et al. 2016, s. 12) Maailmanlaajuisesti EPS on lämmöneristeistä huomattavasti suosituin. Lutz & Bayer (2010, s. 569) mukaan maailmanlaajuisesti 80 % järjestelmistä rappausalustana on EPS.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä lämmöneriste välittää rappaukseen kohdistuvat kuormat alusrakenteeseen yhdessä mahdollisten mekaanisten kiinnikkeiden kanssa. Tällöin lämmöneristeen lujuuksien ja jäykkyyksien tulee olla sellaiset, että ne kykenevät välittämään rappaukseen kohdistuvat kuormat alusrakenteeseen ilman suuria muodonmuutoksia ja murtumatta. Etenkin lämmöneristeen leikkausjäykkyyden ja -lujuuden tulee olla riittävän suuret, jotta rappaus ei pääse painumaan eikä itse lämmöneriste murru. Puristus- ja vetolujuus ovat myös tärkeitä ominaisuuksia, etteivät esimerkiksi tuulenimu ja -paine murra rakennetta. (Lahdensivu et al. 2016, s. 32-33) EPS-eristeiden lujuudet ja jäykkyydet ovat suurempia kuin mineraalivillalämmöneristeiden.

Mineraalivilloilla ja EPS-lämmöneristeillä on lähes samanlaiset lämmönjohtavuudet, joskin EPS:n lämmönjohtavuus on hieman pienempi. Kumpikaan lämmöneriste ei juuri ime kapillaarisesti vettä, ja niiden vedenimuneudet ovat erittäin pieniä. Ne kuitenkin eroavat toisistaan huomattavasti vesihöyrynläpäisevyyden perusteella. EPS-lämmöneristeiden vesihöyrynläpäisevyys on useita kymmeniä kertoja pienempi kuin mineraalivillojen, jolloin ne päästävät vesihöyryä hitaammin lävitseen. Vastaavasti nestemäinen vesi pääsee valumaan mineraalivillassa, mutta ei EPS:ssä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 25) Mineraalivillan suurempi vesihöyrynläpäisevyys ja nesteen valuminen villassa johtuu sen suuremmasta permeabiliteetista verrattuna EPS:iin.

Auringon UV-säteily vahingoittaa sekä mineraalivilla- että EPS-lämmöneristeitä (Lahdensivu et al. 2016, s. 23). Vaurioituneita lämmöneristeitä ei saa käyttää rappausalustana, koska laastin tartunta siihen heikkenee. Jo asennetuista lämmöneristeistä vaurioitunut pinta voidaan poistaa harjaamalla tai hiomalla. Asennetut lämmöneristeet voidaan suojata myös levittämällä niiden pintaan ohut laastikerros. (Lahdensivu et al. 2016, s. 35-38)

EPS-eristeiden materiaaliominaisuuksiin kuuluu materiaalin kutistuminen, joka on seurausta valmistusmenetelmistä. Lisäksi ne sisältävät valmistuksen jälkeen jonkin verran sisäistä kosteutta. Kutistumisesta sekä sisäisestä kosteudesta päästään kuitenkin eroon varastoimalla ja vanhentamalla levyjä. (Weber et al. 2016, s. 20-21) Suomessa vanhennus tapahtuu säilyttämällä tuotteita useita viikkoja lämpimissä tehdasolosuhteissa tai nopeutetusti niin sanotuissa vanhennustunneleissa. Ohutrappaus-eristejärjestelmien alustana käytettävät EPS-lämmöneristeet ovat hyvin mittapysyviä, ja niiden kutistuminen loppuu muutaman vuoden jälkeen kokonaan (Brasholz 1985, s. 189). Mittapysyvyyden lisäksi julkisivuissa käytettävien EPS-lämmöneristeiden tulee olla vaikeasti syttyvää laatua. Tätä kuvataan eristeen nimen perässä olevalla S-kirjaimella (RT 36-11113 2013, s. 1). EPS:n materiaaliominaisuuksiin kuuluu myös suhteellisen korkea lämpölaajenemiskerroin verrattuna epäorgaanisiin laasteihin.

Mineraalivilla ja EPS-lämmöneristeet eroavat toisistaan palokäyttäytymisen perusteella. EPS-tuotteet ovat orgaanisia, joten ne osallistuvat paloon. Ne kuuluvatkin paloteknistä käyttäytymistä kuvaavaan luokkaan E (RT 36-11113 2013, s. 1). Mineraalivillatuotteet eivät vastaavasti osallistu paloon tai ne osallistuvat paloon erittäin rajoitetusti eli ne kuuluvat paloteknistä käyttäytymistä kuvaaviin luokkiin A1 tai A2.

EPS-lämmöneristeet eivät ole yksinään tarkasteltuna täyttäneet Suomen rakentamismääräyskokoelman E1 (2002 ja 2011) 3-8 -kerroksisille P1-luokan rakennuksille asetettua vaatimusta B-s1, d0 -luokan julkisivun rakennustarvikkeista. Järjestelmille on kuitenkin voitu tehdä oma palotekninen luokitus, jolloin ollaan päästy B-s1, d0 -luokkaan (Aho et al. 2006, s. 21). Tällöin rakennuksessa on kuitenkin tarvinnut käyttää palokatkoja ikkunoiden yläpuolella tai 2-kerroksen välein. Alle 3-kerroksisissa P1-luokan rakennuksissa sekä P2- ja P3-luokan rakennuksissa ei ole tarvinnut käyttää palokatkoja. Nykyisen ympäristöministeriön asetuksen 848/2017, joka on tullut voimaan vuoden 2018 alussa, mukaan EPS:iä ei voida käyttää lämmöneristeenä yli 56 m korkeissa P1-luokan rakennuksissa ja yli 2-kerroksisissa P2-luokan rakennuksissa. Alle 56 m korkeissa P1-luokan rakennuksissa tulee käyttää palokatkoja kahden kerroksen välein 28 m asti, ja tämän jälkeen kerroksittain. Korjausrakentamisessa palokatkoja ei vaadita, jos lisälämmöneristeen paksuus on alle 100 mm. Palokatkot ovat olleet tyypillisesti mineraalivillakaistoja, joka aiheuttaa rappausalustaan epäjatkuvuuskohdan, jossa alustan ominaisuudet muuttuvat muun muassa lämpö- ja kosteusteknisesti ja muodonmuutosominaisuuksien suhteen. Nykyisin palokatkoina käytetään myös PIR-kaistoja, jotka ovat materiaaliominaisuuksiltaan lähempänä EPS:iä.

Nykyisin rappausalustana käytetään myös perinteisen valkoisen EPS:in lisäksi niin sanottua harmaata EPS:iä. Siihen on lisätty grafiittia tai nokimustaa, jotka pystyvät absorboimaan itseensä lämpösäteilyä, jonka seurauksena harmaan EPS:n lämmönjohtavuus on huomattavasti pienempi kuin valkoisella EPS:llä. (Lähdesmäki 2014, s. 265) Tummat pinnat absorboivat enemmän auringon säteilyä kuin vaaleat pinnat. Tästä johtuen jo julkisivuun asennetut harmaat EPS:t voivat lämmitä ja täten laajeta enemmän kuin valkoiset EPS:t ennen verkotuslaastikerroksen levitystä. Tällöin levyjen väliin voi syntyä rakoja. EPS-lämmöneristeisiin lämpöliikkeitä voidaan pyrkiä vähentämään lukkopontillisilla levyillä ja sääsuojilla.

Kuten aiemmin on kerrottu, lämmöneristeet kiinnitetään alusrakenteeseen liimalaastilla ja mahdollisesti mekaanisilla kiinnikkeillä. Ennen lämmöneristeiden asennusta alusrakenteen epätasaisuudet tulee oikaista tai poistaa, jotta lämmöneristeillä saadaan aikaiseksi tasainen rappausalusta. Lämmöneristeillä oikaisu on hankalampaa. Epätasainen rappausalusta vaikuttaa lopullisen rappauksen tasaisuuteen sekä laastikerroksen paksuuteen. Lämmöneristeet limitetään keskenään siten, että lämmöneristeet eivät muodosta neljän lämmöneristeiden nurkan yhtymäkohtaa. Lisäksi ne limitetään aukkojen nurkkien kanssa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 35-37) Lämmöneristeitä on suositeltu asennettavaksi näin jo ensimmäisissä järjestelmissä (Vesterinen 1991, s. 23). Korjauskohteissa ja paikallarakenetuissa järjestelmissä lämmöneristeiden saumat limitetään elementtisaumojen kanssa, jottei rappaukseen pääse muodostumaan halkeamaa elementtisauman kohdalle.

Lämmöneristeiden saumoihin ei saa muodostua asennuksessa rakoja tai hammastusta. Hammastukset tasataan hiomalla tai EPS-lämmöneristeitä leikkaamalla. Hionta katkoo ja vaurioittaa mineraalivillan kuituja, mikä huonontaa verkotuslaastin tartuntaa. Tämän takia on tärkeää, että alusrakenteen pinta on tasainen ennen lämmöneristeiden asennusta. Lämmöneristeiden raot täytetään PU-vaahdolla EPS-lämmöneristeiden yhteydessä tai mineraalivillasullonnalla mineraalivillalämmöneristeiden yhteydessä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 35-37) Vanhoissa mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä rakoja on voitu täyttää myös PU-vaahdolla.

2.5.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien lämmöneristeet

Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytetään levymäistä mineraalivillaa, joka sallii rappauksen liikkeitä. Eristeyhdistelmiä voidaan myös käyttää, mutta niissä rappausalustan ulomman kerroksen tulee olla mineraalivillaa (Lahdensivu et al. 2016, s. 16).

Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytettävien mineraalivillojen lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet ovat samankaltaisia kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Niiden lämmönjohtavuudet ovat kuitenkin hieman pienempiä kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetyissä mineraalivilloissa. Lämmöneristeiden lujuudet ovat kuitenkin pienempiä kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, koska lämmöneriste ei ole yhtä merkittävässä roolissa

kuormien siirtämisessä alusrakenteeseen, ja lämmöneristeen tulee sallia rappauksen liikkeet. Lämmöneristeitä ei liimata alusrakenteeseen, joten ne siirtävät pystysuuntaisia kuormia ainoastaan kitkan avulla alusrakenteeseen. Lämmöneriste välittää kuitenkin tuulenpaineesta aiheutuvan puristusjännityksen ja kiinnikkeiden asennuskulmasta aiheutuvan rappauksen oman painon vaakakomponentin alusrakenteeseen. Tällöin lämmöneristeen puristuslujuuden ja etenkin puristusjäykkyyden tulee olla sellaiset, että lämmöneriste pysyy siirtämään puristuskuormat alustaan ilman suuria muodonmuutoksia. (Lahdensivu et al. 2016, s. 57-58)

Paksurappaus-eristejärjestelmissä alustan ei tarvitse olla yhtä tasainen kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, mutta suurimmat epätasaisuudet tulee kuitenkin oikaista tai poistaa, koska ne vaikuttavat lopullisen pinnan tasaisuuteen. Lämmöneristeet limitetään keskenään sekä aukkojen nurkkien kanssa, kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Kahta lämmöneristekerrosta käytettäessä tulee sisemmän ja ulomman kerroksen lämmöneristeiden saumat myös limittää. (Lahdensivu et al. 2016, s. 60-63)

2.6 Alusrakenne

Alusrakenteen tehtävä on toimia seinän kantavana rakenteena, joka siirtää eristerappausjärjestelmien kuormat perustuksille. Alusrakenne voi olla betoninen, muurattu tai terästaikka puurankainen. Rankarunkoisissa rakennuksissa rungon ja lämmöneristeen välissä tulee käyttää säänkestävää tuulensuojalevyä. Paikallavaletuissa ja betonielementtiseissä alusrakenne toimii myös rakenteen ilmatiiveyskerroksena (Aho & Korpi 2009, s. 17).

Muiden kuin kiviainespohjaisten alusrakenteiden käytöstä on eriäviä mielipiteitä. Lahdensivu et al. (2016, s. 9-10) mukaan eristerappausjärjestelmillä toteutettujen julkisivujen alusrakenteiden tulee olla ensisijaisesti kiviainespohjaisia, kuten betonisia tai muurattuja, mutta pientaloissa voidaan käyttää myös puurankaa. Tällöin tulee kuitenkin kiinnittää huomiota rakenteen kosteustekniseen toimintaan, rappauksen halkeiluun, liitosten toimivuuteen sekä työnaikaiseen kosteudenhallintaan. Vastaavasti Vinha et al. (2013, s. 3) mukaan puurakenteen päälle tehtävästä eristerappauksesta tulisi luopua kokonaan, koska sadevesi pääsee tunkeutumaan herkästi rakenteeseen toimimattomista liitoksista ja läpivienneistä, ja rakenteen kuivuminen on hidasta.

Korjausrakentamisessa alusrakenteena toimii rakennuksen vanha julkisivurakenne. Betonisandwich- ja kuorimuurijulkisivuissa vanhaa ulkokuorta voidaan joutua vahvistamaan lisäkiinnikkeillä, jos kuormat lisääntyvät oleellisesti, vanha ulkokuoren kiinnitys on heikentynyt tai halutaan varmistaa rakenteen pitkäikäisyys. Lisäkiinnitys ei kuitenkaan ole mahdollista, jos vanhan ulkokuoren vaurioituminen on edennyt niin pitkälle, että lisäkiinnitys siihen ei enää ole mahdollista, eristetilassa on mikrobivaurio tai vanha julkisivupinta on liian epätasainen. Tällöin vanha ulkokuori- tai kuorimuuri joudutaan purkamaan. (Lahdensivu et al. 2016, s. 80-83) Ohutrappaus-eristejärjestelmissä vanhan julkisivupinnan tai

sisäkuoren ulkopinnan tulee olla puhdas, riittävän luja ja tasainen, jotta liimalaastikiinnitys rakenteeseen onnistuu, ja saadaan tasainen rappausalusta rappaukselle (Lahdensivu et al. 2016, s. 89). Paksurappaus-eristejärjestelmissä pinnan ei tarvitse olla puhdas, koska lämmöneristeet kiinnitetään mekaanisilla kiinnikkeillä alusrakenteeseen. Alusrakenteen tulee olla kuitenkin riittävän luja ja tasainen, jotta rappausalustasta saadaan tasainen ja mekaanisille kiinnikkeille saadaan riittävä kestävyys. (Lahdensivu et al. 2016, s. 103) Vanhojen betonielementtien saumojen elastiset saumaussmassat poistetaan, ja sauma täytetään mineraalivillasullonnalla. Saumassa voidaan käyttää myös PU-vaahdotusta varmistamaan sauman ilmanpitävyys ja estämään konvektio, mutta uloimman 50 mm tulee olla mineraalivillaa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 91 ja s. 104)

2.7 Eristerappaus betonielementeissä

Uudisrakentamisessa toteutetaan sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmiä myös elementteinä. Molemmissa järjestelmätyypeissä elementtitehtaalla elementin sisäkuoreen kiinnitetään valmiiksi lämmöneristeet. Paksurappaus-eristejärjestelmäelementeissä elementtitehtaalla lämmöneristeiden päälle valetaan myös rappausverkolla lujitettu pohja- ja täyttörappaus.

Elementtien asennuksessa tulee kiinnittää huomiota elementtien ulkopinnan tasaisuuteen, koska rappauksella ei ole enää mahdollista oikaista pintaa (Lahdensivu et al. 2016, s. 52 ja s. 75). Elementtisaumojen juotosvalun tulee olla myös hyvin ilmatiivis (Lahdensivu et al. 2016 s. 52-53 ja s. 75), koska sisäkuori toimii rakenteen vaippana.

2.7.1 Ohutrappauselementit

Ohutrappaus-eristejärjestelmien käyttöä elementtirakentamisessa on alettu tutkia 1990- ja 2000-lukujen taitteessa. Elementit valmistetaan joko latomalla lämmöneristeet muotin pohjalle ja valamalla sisäkuori niiden päälle tai latomalla lämmöneristeet tuoreen betonivalun päälle. Molemmilla tavoilla lämmöneristeet kiinnittyvät sisäkuoreen betonin tartunnalla. Kun elementit on nostettu pois muotista, levitetään lämmöneristeiden ulkopintaan ohut laastikerros suojaksi UV-säteilyä vastaan. (Lahdensivu et al. 2016, s. 51) Elementeissä voidaan käyttää sekä lamellivillaa että EPS-lämmöneristeitä.

Työmaalla lämmöneristeiden saumaan asennetaan mineraalivillakaista, kun lämmöneriste on mineraalivillaa, tai pursutetaan PU-vahto, kun lämmöneriste on EPS:iä. Joissakin mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä voidaan käyttää elementtien saumoissa myös PU-vahtoa järjestelmätoimittajan ohjeiden mukaan. Sauman ulkopinnassa tulee kuitenkin käyttää mineraalivilla sullontaa. Elementtien asennuksen jälkeen julkisivu rapataan, kuten muissakin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 52-53)

Elementtien lämmöneristeet voivat vaurioitua ennen rappauksen levittämistä esimerkiksi niiden kuljetuksen, käsittelyn tai muiden rakennustöiden seurauksena. Vaurioituneista kohdista poistetaan lämmöneriste, ja sisäkuori puhdistetaan huolellisesti. Uusi lämmöneriste kiinnitetään sisäkuoreen liimalaastilla, kuten paikallarakennetuissa järjestelmissä, ja pinta tasataan samaan tasoon muun eristepinnan kanssa. Lohjenneet EPS-lämmöneristeiden palat voidaan myös liimata takaisin kiinni elementtiin. (Lahdensivu et al. 2016, s. 53)

2.7.2 Paksurappauselementit

Paksurappaus-eristejärjestelmillä toteutetut elementit ovat tulleet markkinoille 2000-luvun puolen välin tienoilla (Suominen 2007, s. 66). Elementit valmistetaan latomalla lämmöneristeet tuoreen betonivalun päälle. Lämmöneristeiden päälle asennetaan rappausverkko, joka kiinnitetään betonivaluun lämmöneristeen läpi työnnettävillä teräslenkeillä. Kiinnikkeiden asennuskulma ja ankkurointipituus sisäkuoreen voi vaihdella, koska lenkien asennus tehdään käsin. Pahimmassa tapauksessa kiinnikkeet voivat olla irti valusta. Lopuksi lämmöneristeiden päälle valetaan pohja- ja täyttörappaus yhtenä valuna (Lahdensivu et al. 2016, s. 74). Elementtien reunoille tehdään ohennukset valuun, jotta rappausverkko saadaan jatkettua elementin reunojen yli työmaalla.

Työmaalla lämmöneristeiden väliin asennetaan mineraalivillalakaista. Elementtien asennuksen jälkeen elementtien saumoihin asennetaan rappausverkko, joka limitetään vierekkäisten elementtien rappausverkkojen kanssa. Tämän jälkeen elementtien ohennuksiin levitetään pohja- ja täyttörappaukset samaan tasoon muun elementin rappauksen kanssa. Kuljetuksessa tai asennuksessa vaurioitunut pohja- ja täyttörappaus poistetaan, ja tilalle levitetään uudet rappauskerrokset. Lopuksi julkisivun pinta viimeistellään, kuten paikallarakennetuissa julkisivuissa. (Lahdensivu et al. 2016, s. 75-76)

2.8 Järjestelmien tuotehyväksyntä ja testaus

Eristerappausjärjestelmät toteutetaan järjestelminä. Järjestelmällä tarkoitetaan yhden toimittajan yhdellä tavalla toteutettavaa ja testattua tuotekokonaisuutta. Eri toimittajien tuotteita ei tule käyttää ristiin, jotta järjestelmä toimii testatusti ja suunnitellusti.

Ohutrappaus-eristejärjestelmille voidaan hakea CE-merkintää ETA-arvioinnin mukaan. Arviointi on järjestelmäkohtainen. (Lahdensivu et al. 2016, s. 17) ETA-arviointi tapahtuu ETAG-004 -ohjeen mukaan. Ensimmäinen versio ohjeesta julkaistiin vuonna 2000. ETAG 004 -ohjeen (2013, s. 16) mukaan sekä eristerappausjärjestelmistä että niiden komponenteista tulee tehdä ETA-arviointi. Ohje pohjautuu ohjeisiin UEAtc M.O.A.T 22 -ohjeeseen vuodelta 1988 ja UEAtc M.O.A.T 51 -ohjeeseen vuodelta 1992. UEAtc M.O.A.T 22 -ohje on tarkoitettu EPS-alustaisille ohutrappauksille, ja UEAtc M.O.A.T 51 -ohje on tarkoitettu mineraalivilla-alustaisille ohutrappauksille. Paksurappaus-eristejärjestelmillä ei ole vastaavaa testausohjetta, mutta niiden toimivuutta voidaan arvioida

ETAG 004 -ohjeen periaatteiden mukaan (Lahdensivu et al. 2016, s. 18). Taulukossa 1 on esitetty järjestelmistä ja komponenteista testattavat ominaisuudet.

Taulukko 1: Ohutrappaus-eristejärjestelmistä ja komponenteista testattavat ominaisuudet. (ETAG 004 2013, s. 31-55 ja s. 56-65)

Testattava osa	Testattavat ominaisuudet
Järjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> - Palokäyttäytyminen - Veden imeytymiskyky - Kosteus- ja lämpötekkinen toiminta säärasisustusko-keessa <ul style="list-style-type: none"> • Lämmitys-sadetussyklit + lämmitys-jäähdytussyklit • Jäätymis-sulamissyklit (vaadittaessa) - Iskunkestävyys - Vesihöyrynläpäisevyys - Vaarallisten aineiden haihtuminen - Tartuntavetokestävyys eri kerrosten välillä - Kiinnikkeiden kestävyys - Tuulen paineen kestävyys (kiinnikkeiden läpivetokestävyys) - Ilmaääneneristys - Lämmönvastus
Lämmöneriste	<ul style="list-style-type: none"> - Palokäyttäytyminen - Veden imeytymiskyky - Vesihöyrynläpäisevyys - Vetolujuus kohtisuorassa julkisivupintaan nähden - Leikkauslujuus - Liukumoduuli - Dynaaminen jäykkyys - Ilmanpitävyys - Lämmönvastus tai -johtavuus
Kiinnikkeet	<ul style="list-style-type: none"> - Ulosvetokestävyys - Vaikutus lämmönjohtavuuteen
Profiilit	<ul style="list-style-type: none"> - Kiinnikkeiden läpivetokestävyys profiilista
Rappaus	<ul style="list-style-type: none"> - Halkeamaleveys (epäorgaaniset laastit) - Murtovenymä (orgaaniset laastit)
Rappausverkot	<p>Lasikuiturappausverkot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vetokestävyys - Alkaliin vaikutus vetokestävyyteen <p>Kuumasinkitetyt verkot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sinkityksen paksuus
Saumausvaahdot	<ul style="list-style-type: none"> - Leikkausjännitys - Liukumoduuli - Laajenemisominaisuudet

ETAG 004 -ohjeen (2013, s. 21 ja s. 37) mukaan eristerappausjärjestelmien tavoiteltu käyttöikä on 25 vuotta ja testaus perustuu tähän olettamukseen. Lisäksi testauksessa oletetaan, että julkisivun pinnan lämpötila voi vaihdella -20 °C :n ja 80 °C :n välillä, ja nopea 30 °C :n lämpötilanvaihtelu ei saa aiheuttaa rappaukselle vaurioita.

Suomen olosuhteissa ETAG 004 -ohjeen mukainen pakkaskestävyyden testaus ei ole kuitenkaan riittävä (Lahdensivu et al. 2016, s. 18), koska ETAG 004 -ohjeen mukaan järjestelmille tehdään pakkaskestävyydestit ainoastaan, jos kapillaarinen veden imeytymisen verkotuslaastiin tai pinnoitteeseen on yli $0,5\text{ kg/m}^2$ (ETAG 004 2013, s. 33). Tällöin järjestelmille ei välttämättä aina tehdä pakkaskestävyydestiä arvioinnin yhteydessä. Suomessa on päädytty tekemään tiukemmat pakkaskestävyysskoheet sekä laasteille että järjestelmille.

Laastien pakkaskestävyys testataan SFS-käsikirja 176 mukaan. Järjestelmät testataan säärasituskokeilla, joissa koeseinään kohdistetaan 100 jäädytys-sulamissykliä. ETAG 004 -ohjeesta poiketen koeseinää sadetetaan ennen jäädytysyyskliä. Testissä rakenteeseen ei saa muodostua vettä läpäiseviä halkeamia, pinnoitteen tulee pysyä ehjänä ja kiinni alustassaan, lämmöneristeiden saumat ja mekaaniset kiinnikkeet eivät saa kuultaa rappauksen läpi syklien jälkeen eikä rakenteen tartuntavetolujuus saa heikentyä merkittävästi. (Lahdensivu et al. 2016, s. 18-19) Sekä ETAG 004 -ohjeen mukaisessa että Suomessa tehtävissä säärasituskokeissa testiseinään kuuluu myös ikkunaliitos, jonka tarkoitus on testata liitosten toteutuksen vaikutusta järjestelmien toimintaan.

3. RASITUSTEKIJÄT

Eristerappausjärjestelmiin kohdistuvista rasitustekijöistä keskeisimpiä ovat säärasitus sekä mekaaniset rasitukset. Säärasituksesta merkittävimpiä ovat kosteus- ja pakkasrasitus, lämpötilan vaihtelut sekä UV-säteily. Kaikkien eristerappausjärjestelmissä käytettävien materiaalien tulee olla säänkestäviä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 22-23) Eristerappausjärjestelmiin säärasitus vaikuttaa voimakkaammin kuin kovalle alustelle tehtäviin rappauksiin, koska alusta ei tasaa rappauksen kosteus- ja lämpötilavaihteluita (Pentti 2014, s. 135). Tällöin esimerkiksi eristerappauksiin syntyy helpommin kosteuden aiheuttamia vaurioita ja esteettisiä haittoja. Julkisivun kosteusrasitustasoon vaikuttaa rakennuksen maantieteellinen sijainti sekä mikroilmasto, mutta työ- ja suunnitteluvirheillä on myös suuri merkitys. Ne aiheuttavat rakenteen toimivuuspuutteita, jotka voivat lisätä huomattavasti rakenteen rasitustasoa.

Eristerappausjärjestelmille aiheutuu mekaanista rasitusta esimerkiksi erilaisista iskuista, hankauksesta sekä törmäyksistä. Tämän lisäksi niihin aiheutuu kuormitusta tuulesta, rakenteen omasta painosta ja pakkovoimista (Lahdensivu et al. 2016, s. 20-22). Rappauksen oma paino aiheuttaa rappauksen painumista, joka estettynä aiheuttaa rappaukselle pakkovoimia. Muita pakkovoimia aiheuttavia kuormituksia ovat muun muassa lämpö- ja kosteusliikkeet, rappauksen ja lämmöneristeen kutistuminen sekä rungon ja rappausalustan liikkeet.

3.1 Mekaaniset rasitukset

Mekaaniset rasitukset ovat seurausta ulkoisten tekijöiden, kuten ihmisten tai esineiden, iskuista, törmäyksistä tai hankauksesta rappausta vasten. Iskut ja törmäykset ovat luonteeltaan satunnaista, ja niitä on vaikea ennakoida. Hankaus voi olla luonteeltaan toistuvampaa. Mekaaniset rasitukset ovat tyypillisimpiä alimmissa kerroksissa sekä parvekkeiden taustapinnoilla. Rappaukseen kohdistuvia iskuja voidaan pyrkiä vähentämään suojaamalla seinäpinnat esteillä, jotka vähentävät kulkua seinän vieressä, kuten istutuksilla ja kaiteilla (Lahdensivu et al. 2016, s. 22).

Iskusta rappaukseen syntyvä rasitus riippuu iskeytyvän kappaleen kineettisestä energiasta ja pinta-alasta sekä rappausalustan kimmoisuudesta ja paksuudesta, kun tilanne yksinkertaistetaan jousisysteemiksi. Iskun aiheuttama voima on sitä suurempi mitä suurempia ovat iskeytyvän kappaleen kineettinen energia ja rappausalustan kimmokerroin. Vastaavasti rappausalustan suurempi paksuus ja iskeytyvän kappaleen suurempi pinta-ala aiheuttavat pienemmät jännitykset rappaukseen. Esimerkiksi EPS-lämmöneristeet ovat kimmoisilta ominaisuuksiltaan mineraalivilloja jäykempiä. Tällöin rappaukseen kohdistuu suurempi voima, kun tausta ei absorboi itseensä yhtä paljon iskun kineettistä energiaa.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä voidaan jaotella iskunkestävyydeltään kolmeen eri luokkaan ETAG 004 -ohjeen mukaan. Taulukossa 2 on esitetty iskunkestävyysluokitus, luokkien kuvaukset ja iskunkestävyysvaatimukset. Materiaalitoimittajilla tulee olla valmiit ratkaisut luokan I julkisivuille (Lahdensivu et al. 2016, s. 22).

Taulukko 2: Julkisivujen iskunkestävyys luokitus (ETAG 004 2013, s. 69-70).

Luokka	Kuvaus	Iskunkestävyys
I	Katutason ja muut julkisivut, joissa rappaus on altis ihmisten aiheuttamille iskuille Julkisivuun ei saa kohdistua tavanomaista kovempaa räsitusta	10 J -isku ei aiheuta näkyviä halkeamia
II	Julkisivut, joihin voi kohdistua iskuja heitetyistä tai potkaistuista esineistä Sisäpihan julkisivut, joissa voidaan olettaa, että käyttäjillä on halu huolehtia julkisivujen kunnosta	10 J -isku ei aiheuta ympyränmuotoista läpileikkautunutta halkeamaa 3 J -isku ei aiheuta näkyviä halkeamia
III	Julkisivuun ei kohdistu ihmisten aiheuttamia suoria tai välillisiä iskuja	3 J -isku ei aiheuta ympyränmuotoista läpileikkautunutta halkeamaa

Ohutrappaus-eristejärjestelmien iskunkestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä kahta rappausverkkoa, sitkeämpiä laasteja tai vahvempaa rappausverkkoa eli niin sanottua panssariverkkoa (Lahdensivu et al. 2016, s. 30). Paksurappaus-eristejärjestelmillä ei ole vastaavaa iskunkestävyysluokitusta, mutta niiden iskunkestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä lujempia laasteja tai tiheämpää verkotusta (Lahdensivu et al. 2016, s. 56).

3.2 Kosteusrasitus

Kosteusrasitus on merkittävimpiä eristerappausjärjestelmien säärasitustekijöistä. Se on mukana monissa vauriomekanismeissa, kuten laastin rapautumisessa ja pinnoitteen tartunnan heikkenemisessä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 22-23) Julkisivujen kosteus voi olla peräisin esimerkiksi sateesta, sisä- ja ulkoilman kosteudesta, maaperän kosteudesta, materiaalien rakennekosteudesta tai rakennusaikaisesta kosteudesta. Sade on näistä kosteuslähteistä merkittävin.

Kosteuden tunkeutumista rakenteeseen voidaan ehkäistä tehokkaimmin toimivalla työaikaisella sääsuojauksella (Lahdensivu et al. 2016, s. 24). Sääsuojaustoimenpiteet tulee toteuttaa kosteushallintasuunnitelman mukaan. Lisäksi elementit tulee sääsuojata varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Betoniteollisuus RY -ohjeen (2018) mukaan elementtirakenteisissa julkisivuissa muovipohjaisilla lämmöneristeillä ei tarvitse käyttää sääsuojaukselta varastoinnin tai kuljetuksen aikana, ellei eristeen valmistaja niin erikseen ilmoita.

Mineraalivillapohjaisissa eristerapatuissa elementeissä elementtien yläosa tulee suojata kutistemuovilla.

Käytetyllä pinnoitteella tai pintarappauksella on suuri merkitys sekä rakenteen että rappauksen kastumiseen ja kuivumiseen. Orgaanisten pinnoitteiden pintaan muodostuu viistosateella nopeasti vesikalvo, joka liikkuu tuulenpaineen vaikutuksesta kaikkiin suuntiin julkisivupinnalla. Epäorgaanisilla pintarappauslaasteilla vesikalvo pääsee muodostumaan vasta, kun viistosateen voimakkuus ylittää laastin vedenimunopeuden tai laastin huokos-tila on täytynyt vedellä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 24-25) Orgaanisten pinnoitteiden harvarakeisuus, ohjearvoa pienempi paksuus ja pohjusteaineen puuttuminen lisäävät kosteuden imeytymistä rappaukseen.

Työ- ja suunnitteluvirheet lisäävät merkittävästi kosteuden tunkeutumista rappausalustaan ja imeytymistä rappauslaasteihin tiiviiden pinnoitteiden alla. Toimimattomista ja tiivistämättömistä liitoksista sekä halkeamista kosteus pääsee tunkeutumaan rakenteeseen tuulen aiheuttaman paine-eron, kapillaarisen imun tai vesikalvon kineettisen energian avulla. Kuvassa 14 on esimerkki ikkunapellin ja pielen väliin syntyvästä kolosta, josta kosteus pääsee tunkeutumaan sisälle rappaukseen.

Kvande et al. (2018, s. 6 ja s. 12) tutkimuksen mukaan liitosten kosteustekniset toimivuuspuutteet olivat suurin syy eristerappausjärjestelmien vaurioitumisen etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Olsson (2014, s. 957) havaitsi vastaavasti tutkimuksessaan, että 90 %:ssa 110 julkisivusta, joiden toimivuutta viistosaderasitusta vastaan tutkittiin laboratoriossa materiaalitoimittajien toimesta, oli vuotoja. Tutkimuksessa ikkunaliitokset osoittautuivat vuotavimmiksi. Toisessa tutkimuksessaan Olsson (2017, s. 391) havaitsi, että julkisivun halkeamien kautta rakenteen sisään voi tunkeutua jopa lähes 2 % julkisivun viistosademäärästä. Tutkimuksessa havaittiin, että halkeaman leveys ei juurikaan vaikuttanut tunkeutuneen sadeveden määrään. Suurempi vaikutus oli halkeaman pituudella sekä tuulenpaineen suuruudella.



Kuva 14: *Vesipellin ja ikkunapielen välissä on rako, josta kosteus pääsee tunkeutumaan rappaukseen.*

Kosteus tunkeutuu helpommin mineraalivillaan kuin EPS-lämmöneristeisiin (Kvande et al. 2018, s. 12). Rappauksen taakse tunkeutunut kosteus pääsee valumaan mineraalivillassa, mutta ei solumuovilämmöneristeissä. Solumuovialustaisissa eristerappauksissa kosteus pääsee valumaan kuitenkin eristelevyjien saumoissa. (Lahdensivu et al. 2016,

s. 25) Mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä rappausalustaan tunkeutunut kosteus kas- telee tällöin laajemman alueelta rappausta sekä rappausalustaa.

3.2.1 Sade ja viistosade

Julkisivujen saderasitus johtuu pääsääntöisesti viistosateesta, jolloin tuulen vaikutuksesta sade sataa vinosti. Suomessa viistosaderasitus on rankinta Etelä-Suomen rannikkoalu- eilla. Rasitustaso vähenee siirryttäessä kohti pohjoista. Tämä johtuu sekä Etelä-Suomen suuremmista sademääristä että nopeammasta sateen aikaisesta tuulesta rannikko alueilla. Viistosaderasitus keskittyy eniten kaakkois-, etelä- ja lounaisjulkisivuille. (Pakkala et al. 2016, s. 40-41) Viistosaderasitus on myös huomattavasti suurempaa seinän yläosissa kuin muilla alueilla (Jergling & Schechinger 1983). Kvande et al. (2018, s. 13) mukaan kos- teuden aiheuttamia vaurioita löytyy eniten alueilta, joissa viistosaderasitus on voimak- kainta.

Taulukoissa 3, 4, 5 ja 6 on esitetty vuotuisia vapaita viistosademääriä I_A Helsinki-Van- taalla, Jokioisilla, Jyväskylässä sekä Sodankylässä. Viistosademäärät on laskettu standar- din SFS-EN ISO 15927-3 (2009) mukaan hyödyntäen Ilmatieteen laitoksen tuottamaa tuntikohtaista sääaineistoa vuosilta 1980-2009. Sääaineistosta on poistettu lumena satanut sade. Taulukossa 3 on esitetty koko vuoden vapaat viistosademäärät. Taulukossa 4 on esitetty kolme päivää ennen 0 °C -jäätymis-sulamissykliä satanut vapaa viistosade. Tau- lukossa 5 on esitetty kolme päivää ennen -5 °C -jäätymis-sulamissykliä satanut vapaa viistosade. Taulukossa 6 on esitetty vapaat viistosademäärät vuodenajoittain. Liitteessä 1 on esitetty arvoja myös muille ilmansuunnille kuukausittain.

Taulukko 3: Vuotuiset vapaat viistosademäärät I_A Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Tuulen suunta 0 ° tarkoittaa pohjoisesta tuulevaa tuulta. Tuulen suunnan muutos tapahtuu myötöpäivään.

Tuulen suunta [°]	Viistosademäärä I_A [mm/a]			
	Helsinki-Vantaa	Jokioinen	Jyväskylä	Sodan- kylä
0	100	89	97	78
45	120	104	84	81
90	181	137	117	91
135	317	221	179	117
180	417	294	186	121
225	350	267	136	87
270	191	163	102	57
315	100	95	106	63

Taulukko 4: Kolme päivää ennen alle 0 °C -jäätymis-sulamissykliä satanut vapaa viistosademäärä $I_{A,0}$ °C -sykli Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Tuulen suunta 0 ° tarkoittaa pohjoisesta tuulevaa tuulta. Tuulen suunnan muutos tapahtuu myötäpäivään.

Tuulen suunta [°]	Viistosademäärä $I_{A,0}$ °C -sykli [mm/a]			
	Helsinki-Vantaa	Jokioinen	Jyväskylä	Sodankylä
0	20	21	26	26
45	26	24	23	23
90	49	36	36	27
135	114	71	61	43
180	168	107	67	52
225	145	104	52	41
270	70	64	36	26
315	24	31	32	24

Taulukko 5: Kolme päivää ennen alle -5 °C -jäätymis-sulamissykliä satanut vapaa viistosademäärä $I_{A,-5}$ °C -sykli Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Tuulen suunta 0 ° tarkoittaa pohjoisesta tuulevaa tuulta. Tuulen suunnan muutos tapahtuu myötäpäivään.

Tuulen suunta [°]	Viistosademäärä $I_{A,-5}$ °C -sykli [mm/a]			
	Helsinki-Vantaa	Jokioinen	Jyväskylä	Sodankylä
0	6	6	6	6
45	7	5	4	5
90	13	8	7	7
135	30	20	17	14
180	49	32	21	19
225	46	34	19	17
270	26	22	14	10
315	9	10	10	6

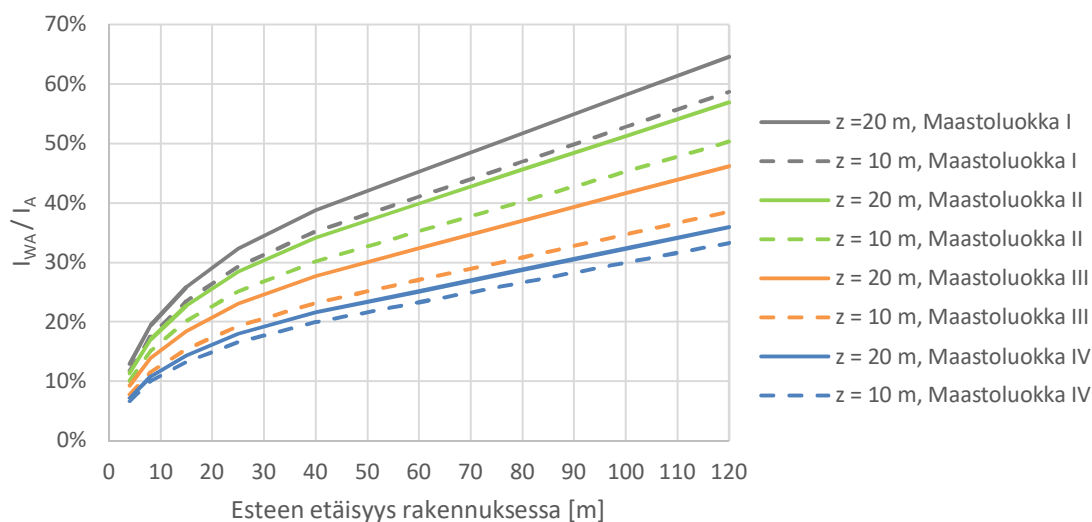
Taulukko 6: Vapaat viistosademäärät vuodenajoittain $I_{A,vuodenaika}$ Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Tuulen suunta 0° tarkoittaa pohjoisesta tuulevaa tuulta. Tuulen suunnan muutos tapahtuu myötöpäivään. Vuodenaikajaottelu: Kevät = maaliskoukokuu, kesä = kesä-elokuu, syksy = syys-marraskuu ja talvi = joulukoukokuu.

Tuulen suunta [°]	Viistosademäärä $I_{A,vuodenaika}$ [mm/a]															
	Helsinki-Vantaa				Jokioinen				Jyväskylä				Sodankylä			
	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Talvi
0	19	49	29	3	16	47	23	3	16	56	23	2	12	51	15	0
45	24	52	39	5	20	51	30	2	15	45	23	1	13	52	16	0
90	32	59	71	19	25	55	49	8	20	47	44	6	16	48	25	1
135	46	76	135	61	35	70	85	31	30	60	71	18	20	50	42	5
180	55	89	174	100	42	83	110	59	30	59	72	24	20	46	47	8
225	44	80	137	90	36	75	96	60	21	48	48	20	14	33	33	7
270	25	59	64	42	22	53	55	34	15	48	30	10	9	27	18	3
315	15	48	28	10	14	43	28	10	17	58	27	5	10	39	14	1

Taulukoista nähdään, että suurin osa vapaasta viistosateesta sataa eteläsuuntaisille julkisivuille. Etelä-Suomen rannikolla määrä voi olla jopa 4-kertainen verrattuna pohjoisjulkisivuun. Pakkasrapautumisen kannalta merkittävää on julkisivun kosteuspiitoisuus syklien aikana. Vuotuisesta vapaasta viistosateesta 22-47 % sataa kolme päivää ennen lämpötilan laskemista alle 0°C :n ja 4-20 % kolme päivää ennen lämpötilan laskemista alle -5°C :n. Määrä on sekä absoluuttisesti että suhteellisesti suurinta eteläjulkisivuilla. Suurin osa vapaasta viistosateesta sataa kesäisin ja syksyin. Kesäisin viistosadetta sataa suhteellisen tasaisesti kaikille julkisivuille, kun taas etenkin talvisin ja syksyisin viistosade keskittyy selvemmin eteläjulkisivuille kuin vuositasolla tarkasteltaessa. Talvisin viistosadetta ei juurikaan sada pohjoisjulkisivuille. Esimerkiksi rannikolla Etelä-Suomessa talvisin eteläjulkisivujen vapaa viistosaderasitus on lähes 30-kertainen verrattuna pohjoisjulkisivuihin.

Vapaa viistosademäärä kuvaa viistosadetta avoimessa ja esteettömässä ympäristössä. Julkisivuihin kohdistuva viistosademäärä I_{WA} on huomattavasti pienempi. Se riippuu muun muassa rakennuksen korkeudesta, maaston tasaisuudesta, ympäristön esteistä ja tarkastelukorkeudesta. Julkisivun yläosaan kohdistuva viistosademäärä on noin 10-70 % vapaasta viistosademäärästä. Kuvassa 15 on esitetty julkisivun yläosaan kohdistuva viistosademäärän suhde vapaaseen viistosademäärään eri korkuisissa ja erilaisissa maastoluokissa sijaitsevissa rakennuksissa, kun rakennuksen edessä on vähintään rakennuksen korkuisia esteitä. Kuvan käyrät perustuvat standardin SFS-EN ISO 15927-3 (2009) kertomiin. Maastoluokkien kuvaukset ovat samat kuin Eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 + AC +A1 (2011) liitteessä A. Maastoluokka I kuvaa järveä tai aluetta, jolla on vähäistä kasvilli-

suutta. Maastoluokka II kuvaa aluetta, jolla on matalaa kasvillisuutta ja esteet ovat vähintään 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan. Maastoluokka III kuvaa aluetta, jossa on säännöllistä kasvillisuutta ja muita esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan. Maastoluokka IV kuvaa alueita, josta 15 % on rakennusten peitossa ja rakennusten keskimääräinen korkeus ylittää 15 m. Kuvasta nähdään, että julkisivun viistosademäärä kaksinkertaistuu esteen etäisyyden nelinkertaistuessa.



Kuva 15: Julkisivupintaan kohdistuva viistosademäärän I_{WA} suhde vapaaseen viistosademäärään I_A eri korkuisissa ja eri maastoluokissa sijaitsevissa rakennuksissa, kun rakenteen edessä on vähintään rakennuksen korkuisia esteitä.

Viistosademäärään vaikuttaa myös huomattavasti rakennuksen mikroilmasto. Esimerkiksi teiden ja kadunvarsien rakennukset voivat koota tuulta niin, että syntyy tuulitunneleita, joissa tuulen nopeus kasvaa (Siikanen 2014, s. 10-11). Tuulen nopeuden kasvu kasvattaa viistosademääriä. Leveillä räystäillä voidaan vastaavasti pienentää viistosaderasitusta (Pentti & Hyypöläinen 1999, s. 79). Paikallisesti julkisivun ulkopinnan kosteusrasitusta nostaa myös muun muassa syöksytörvien ja ikkunan vesipeltien toimivuuspuutteet.

3.2.2 Sisäilman ja ulkoilman kosteus

Sisäilman kosteus pyrkii siirtymään ulkoilmaan diffuusion tai konvektion avulla. Otollisissa olosuhteissa rakenteessa oleva vesihöyry voi kondensoitua rakenteen sisällä. Tiivistymistä tapahtuu, kun vesihöyrypitoisuus ylittää kyllästyskosteuspitoisuuden.

Diffuusiosta vesihöyry kulkeutuu vesihöyryn osapaineiden erojen avulla korkeammasta osapaineesta matalampaan. Diffuusiolla siirtyvän kosteuden kosteusvirran tiheyteen vaikuttaa rakenteen vesihöyrynvastus. Vinha et al. (2013, s. 159-165) mukaan eristerappausjärjestelmissä, joissa alusrakenteena toimii betoniseinä, voi rappauksen sisäpintaan tiivis-

tyä diffuusion kuljettamaa vesihöyryä. Tiivistyvän kosteuden määrä kasvaa, kun lämmöneristekerroksen paksuus kasvaa. Tämä johtuu lämpövirran pienenemisestä rakenteen läpi, jolloin rakenteen ulkopinnan puoleisten osien lämpötila laskee, ja tiivistymiselle syntyy otollisemmat olosuhteet. Tiivistyneen kosteuden määrä on suurempaa myös mineraalivilla-alustaisilla eristerappausjärjestelmillä kuin EPS-alustaisilla järjestelmillä, koska EPS:llä on pienempi vesihöyrynläpäisevyys. Rappauksen sisäpintaan tiivistynyt kosteus imeytyy joko kapillaarisesti rappauslaastiin tai valuu rappauksen sisäpintaa pitkin painovoiman vaikutuksesta alaspäin, kuten lämmöneristekerrokseen tunkeutunut sadevesi.

Vinha et al. (2013, s. 159-165) havaitsivat tutkimuksessaan, että U-arvoltaan $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ olevan eristerapatun julkisivun sisäpintaan tiivistyy kosteutta noin $100\text{-}150 \text{ g/m}^2$ vuodessa. Jalolaastilla pintarapatusta paksurappaus-eristejärjestelmissä kosteutta voi vastavasti tiivistyä jopa 300 g/m^2 vuodessa. Tiivistyminen on hieman suurempaa EPS-alustaisissa ohutrappaus-eristejärjestelmissä kuin mineraalivilla-alustaisissa U-arvon ollessa $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. U-arvon pieneminen kasvattaa kuitenkin suhteessa enemmän tiivistyvän kosteuden määriä mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että mineraalivillalämmöneristeitä käytettäessä lämmöneristeen sisäpintaan voi kondensoitua pieniä määriä kosteutta, joka johtuu mineraalivillan suuremmasta vesihöyrynläpäisevyydestä verrattuna EPS:iin. Tutkimuksessa rappauksen pinnoitteena ja pintarappauksena oli käytetty ainoastaan vesihöyryvoimia pinnoitteita.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappauksen ulkopintaan voi tiivistyä kosteutta myös ulkoilmasta yöaikaan, kun rappauksen lämpötila laskee emission seurauksena. Rappauksen ulkopintaan tiivistyvän kosteuden määrää ovat tutkineet esimerkiksi laskennallisesti Barreira & de Freitas (2013) Portugalissa ja Holm et al. (2004) Saksassa sekä kokeellisesti Johansson et al. (2010) Ruotsissa. Barreira & de Freitas ja Holm et al. havaitsivat tutkimuksissaan, että rappauksen ulkopinnan lämpötila voi laskea keskimäärin noin $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$:sta matalammaksi kuin ulkoilman kastepisteen lämpötila, kun tiivistymistä tapahtuu öisin. Holm et al. tutkimuksen mukaan tiivistymistä tapahtui myös enemmän julkisivuissa, joiden lämmöneristekerroksen paksuus oli suurempi.

Konvektiossa sisäilman kosteutta kulkeutuu ilmavirtauksen mukana rakenteen sisälle. Konvektiolla siirtyvän kosteuden kosteusvirran tiheyteen vaikuttaa rakenteen tiiveys, huokoisuus ja paine-ero rakenteen yli. Eristerappausjärjestelmien alusrakenteena on tyyppillisimmin betoniseinä. Halkeilematon betoni on ilmanpitävää, joten sen läpi ei tapahdu ilmavuotoja. Konvektiolla pääsee kuitenkin tapahtumaan harvavaluisista ja huonosti toteutetuista elementtien saumoista sekä ikkuna- ja ovitiivistyksistä. (Aho & Korpi 2013, s. 17)

3.2.3 Kosteuden kuivuminen

Rappauksen taakse tiivistyneen tai tunkeutuneen kosteuden tulee pystyä poistumaan rakenteesta. Koska eristerappausjärjestelmät ovat tuulettumattomia rakenteita, kuivuminen tapahtuu diffuusion avulla. Diffuusion avulla tapahtuva kuivuminen on hidasta, joten pinnoitteen tulee olla vesihöyryavoin ja kosteuden tiivistymistä ja tunkeutumista rakenteeseen tulee ehkäistä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 23)

Kuivuminen tapahtuu pääsääntöisesti kesäisin, koska muulloin kuivumisella otolliset olosuhteet ovat vähäisiä. Kesällä ja keväällä julkisivupintaan sateen aikana kapillaarisesti imeytynyt vesi kuivuu myös nopeasti. Syksyisin ja talvisin kuivumiselle otolliset olosuhteet ovat heikot, koska ilman suhteellinen kosteus on korkea, lämpötilat ovat matalia ja auringon säteily on vähäistä (Pirinen et al. 2012). Tällöin rappauksen huokosverkostoon kertyy vettä. Syksyisin viistosademäärät ovat etenkin eteläjulkisivuilla suuria, kuten taulukosta 6 nähdään. Tällöin eristerappausjärjestelmän voi kerääntyä huomattava määrä vettä, koska kuivuminen ulkoilmaan on erittäin vähäistä.

Betonisen alusrakenteen rakennekosteus kuivuu tehokkaammin mineraalivillan päälle tehdyissä eristerappausjärjestelmissä, koska elementin kosteus pääsee kuivumaan diffuusiolla nopeammin sekä sisä- että ulkoilmaan. EPS-lämmöneristeillä betonielementin kuivuminen tapahtuu pääsääntöisesti sisäilmaan, jolloin sisätilan pinnoitteen tulee olla hyvin vesihöyryä läpäisevä. (Vinha et al. 2013, s. 330)

3.3 Jäätymis-sulamissyklit

Pakkasrasitus aiheuttaa huokoisten laastien pakkasrapautumista yhdessä kosteuden kanssa (Lahdensivu et al. 2016, s. 23). Pakkasrasitusta kuvataan jäätymis-sulamissykleinä, joissa lämpötila laskee tiettyyn lämpötilaan ja nousee takaisin 0 °C:n. Jäätymisen tapahtuu pienimmissä huokoisissa vasta lämpötilan laskiessa selvästi pakkasen puolelle (Pigeon & Pleau 1995, s. 3-4). Tämän takia jäätymis-sulamissyklejä ilmoitetaan eri lämpötiloissa. Taulukossa 7 on esitetty jäätymis-sulamissykliä määrittävät Kaisaniemessä, Helsinki-Vantaan lentoasemalla sekä Jyväskylän lentoasemalla, kun lämpötila on laskenut alle 0 °C:n, ja kun lämpötila on laskenut alle -2 °C:n, -5 °C:n tai -10 °C:n kolme päivää sateen jälkeen.

Taulukko 7: Jäätymis-sulamissyklien määrä Kaisaniemessä, Helsinki-Vantaan lentoasemalla ja Jyväskylän lentoasemalla. Taulukossa on esitetty määrät tapahtumille, joissa lämpötila on laskenut alle 0 °C:n sekä kolmen päivän sisään sateen jälkeen tapahtunut lämpötilan lasku alle -2 °C:n, -5 °C:n tai -10 °C:n. Tapahtumille on ilmoitettu keskiarvo, keskihajonta sekä vuosittainen minimi- ja maksimimäärä. Tulokset perustuvat 1961-2006 sääaineistoon. (Taulukko: muokattu Lahdensivu 2012, s. 97)

Mitta-asema	Tapahtumat	Lämpötila [°C]	Jäätymis-sulamissyklit [kpl]			
			Keskiarvo	Keskihajonta	Min.	Max.
Helsinki, Kaisaniemi	Kaikki	< 0	76,4	17,9	26	122
	Sade 3 pv ennen jäätymistä	≤ -2	22,3	5,1	11	34
		≤ -5	14	3,9	6	23
		≤ -10	5,9	2,7	1	13
Helsinki-Vantaan lentoasema	Kaikki	< 0	89,8	20,6	34	150
	Sade 3 pv ennen jäätymistä	≤ -2	22	5,7	8	33
		≤ -5	13,6	4,3	4	26
		≤ -10	6,1	2,4	2	12
Jyväskylän lentoasema	Kaikki	< 0	91,5	19,8	45	132
	Sade 3 pv ennen jäätymistä	≤ -2	23,5	5	15	33
		≤ -5	16,4	4,5	8	25
		≤ -10	8,2	3,5	2	15

Taulukosta nähdään, että Etelä-Suomessa lämpötila laskee alle 0 °C:n keskimäärin noin 90 kertaa vuodessa. Sisämaassa määrä on hieman suurempi. Aivan rannikon tuntumassa määrät ovat vastaavasti vähäisempiä. Sama trendi on nähtävissä myös muissa tapahtumissa.

Taulukossa 8 on esitetty jäätymis-sulamissykliä määriä Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä sekä Sodankylässä, kun lämpötila on laskenut alle 0 °C:n tai -5 °C:n kolme päivää sateen jälkeen sekä kaikki tapahtumat, kun lämpötila on laskenut alle kyseisen lämpötilan. Taulukossa 9 on esitetty yhtä sykliä edeltävä keskimääräinen vapaa viistosademäärä sekä 0 °C- että -5 °C -jäätymis-sulamissyklille. Keskimääräisissä vapaissa viistosademäärissä on laskettu mukaan ainoastaan syklit, joita ennen kyseiselle ilmansuunnalle on kohdistunut vapaata viistosadetta. Tällaisia syklejä on vähemmän pohjoissuunnaisille julkisivuille kuin eteläsuunnaisille julkisivuille. Liitteessä 2 on esitetty jäätymis-sulamissyklejä ilmansuunnittain, kun sykliä ennen kyseisestä ilmansuunnasta on satanut viistosadetta enintään kolme päivää ennen syklin alkua. Tulokset perustuvat Ilmatieteen laitoksen mittamaan tuntikohtaiseen sääaineistoon vuosilta 1980-2009. Viistosademäärät on laskettu standardin SFS-EN ISO 15927-3 (2009) mukaan.

Taulukko 8: Jäätymissulamissyklien määrä Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä. Taulukossa on esitetty määrät tapahtumille, joissa lämpötila on laskenut alle 0 °C:n tai -5 °C:n kolmen päivän sisään sateen jälkeen sekä kaikki tapahtumat, kun lämpötila on laskenut alle kyseisen lämpötilan. Lämpötila on noussut yhden -5 °C -jäätymis-sulamissyklin jälkeen takaisin 0 °C:seen.

Lämpötila [°C]	Tapahtumat	Jäätymis-sulamissyklit [kpl]			
		Helsinki-Vantaa	Jokioinen	Jyväskylä	Sodankylä
< 0	Sade 3 pv ennen jäätymistä	47,2	50,9	49,4	48,5
	Kaikki	64,4	71,2	71,3	70,4
< 5	Sade 3 pv ennen jäätymistä	12,0	13,4	14,4	14,5
	Kaikki	17,7	19,9	23,7	24,0

Taulukko 9: Kolme päivää ennen alle 0 °C ja -5 °C -jäätymis-sulamissykliä satanut viistosademäärä $I_{S,0\text{ °C-sykli}}$ ja $I_{S,-5\text{ °C-sykli}}$ Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä tuulen suunnittain. Tuulen suunta 0 ° tarkoittaa pohjoisesta tuulevaa tuulta. Tuulen suunnan muutos tapahtuu myötäpäivään.

Tuulen suunta [°]	Helsinki-Vantaa		Jokioinen		Jyväskylä		Sodankylä	
	$I_{S,0\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,-5\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,0\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,-5\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,0\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,-5\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,0\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]	$I_{S,-5\text{ °C-sykli}}$ [mm/a]
0	0,7	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,9	0,7
45	1,0	1,4	0,9	0,8	0,9	0,6	0,8	0,8
90	1,8	2,1	1,3	1,4	1,1	1,0	0,8	0,9
135	3,0	3,3	1,8	2,1	1,5	1,6	1,1	1,3
180	4,1	4,6	2,4	2,8	1,6	1,8	1,3	1,5
225	3,4	4,3	2,3	2,8	1,2	1,5	1,0	1,3
270	1,7	2,4	1,4	1,9	0,9	1,1	0,6	0,8
315	0,6	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7	0,6

Taulukoista nähdään, että Etelä-Suomen rannikoilla 0 °C -jäätymis-sulamissyklejä on vähiten. Niitä ennen sataa kuitenkin huomattavasti enemmän vapaata viistosadetta, joka rapaukseen imeytyessään tekee syklistä pakkasrasituksen kannalta voimakkaamman. Sykliä määrät nousevat siirryttäessä eteläiseen Sisä-Suomeen, mutta tämän jälkeen syklien määrät vähenevät siirryttäessä kohti pohjoista, kuten myös niitä ennen sataneet vapaat viistosademäärät. -5 °C -jäätymis-sulamissyklejä tapahtuu vähiten Etelä-Suomen rannikolla, ja määrä kasvaa siirryttäessä kohti pohjoista. Suomessa ennen sykliä sataa kuitenkin enemmän vapaata viistosadetta, mikä kasvattaa syklin rasiitusta. Eteläjulkisivuille sataa myös enemmän viistosadetta ennen jäätymis-sulamissyklejä kuin pohjoisjulkisivuille.

Huomioon otettavaa on myös, että ennen -5 °C -jäätymis-sulamissykliä sataa enemmän vapaata viistosadetta kuin 0 °C -jäätymis-sulamissykliä.

3.4 Lämpötilanvaihtelut

Julkisivujen ulkopinnat altistuvat suurille lämpötilaeroille. Lämpötilanvaihtelut aiheuttavat rappaukselle pakkovoimia. Eristerappausjärjestelmien rappaus mukailee nopeammin ulkoilman lämpötiloja kuin kovalle alustalle tehty rappaus, koska lämmöneristeillä on matalampi lämpenemiskerroin eli terminen effusiviteetti kuin esimerkiksi tiilellä (Johansson et al. 2010, s. 1156-1157). Lisäksi lämpövirran tiheys rakenteen yli on pieni. Suomessa ulkoilman lämpötilat voivat vaihdella alle -50 °C :sta lähes 40 °C :seen. Lisäksi yhden vuorokauden lämpötilanvaihtelu voi olla yli 30 °C :ta lähes vuoden kaikkina kuukausina. (Ilmatieteen laitos, viitattu: 27.07.2018) Kesäisin auringon säteilyn absorptio nostattaa julkisivupintojen lämpötiloja entisestään.

Suomessa ulkoilman lämpötilat voivat laskea selvästi alle lämpötilojen, joita käytetään järjestelmille tehtävissä kokeissa. Sekä ETAG 004 -ohjeen mukaisessa testauksessa että Suomessa tehtävissä säärasituskokeissa järjestelmät testataan -20 °C :n minimilämpötilassa. Kaikkialla Suomessa lämpötila laskee tämän lämpötilan alle keskimäärin joka vuosi. Taulukossa 10 on esitetty lämpötilan laskeminen alle -15 °C :n, -20 °C :n, -25 °C :n, -30 °C :n ja -35 °C :n keskimäärin vuodessa Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä sekä Sodankylässä. Tulokset perustuvat Ilmatieteen laitoksen mittamaan tuntikohtaiseen sääaineistoon vuosilta 1980-2009.

Taulukko 10: Lämpötilan laskeminen alle -15 °C :n, -20 °C :n, -25 °C :n, -30 °C :n ja -35 °C :n keskimäärin vuodessa Helsinki-Vantaalla, Jokioisilla, Jyväskylässä ja Sodankylässä.

Lämpötila laskee	Tapahtuman toteutuminen [kpl/a]			
	Helsinki-Vantaa	Jokioinen	Jyväskylä	Sodankylä
$\leq -15\text{ °C}$	12,4	16,4	22,8	45,7
$\leq -20\text{ °C}$	4,8	8,1	14,2	34,9
$\leq -25\text{ °C}$	1,2	2,7	6,2	23,9
$\leq -30\text{ °C}$	0,1	0,4	2,0	12,9
$\leq -35\text{ °C}$	0,0	0,0	0,5	3,3

Taulukosta nähdään, että jopa Etelä-Suomessa lämpötila laskee alle -20 °C :n lähes 5 kertaa vuodessa. Alituskertojen lukumäärät kasvavat huomattavasti siirryttäessä kohti pohjoista. Jyväskylässä lämpötila laskee alle -30 °C :n vielä keskimäärin pari kertaa vuodessa.

Julkisivupinnan lämpötilaa nostaa pinnan absorboima säteily. Säteily voi olla lyhytaaltoista auringosta tulevaa säteilyä tai pitkäaaltoista kaikkien kappaleiden emittoimaa säteilyä. Pinnan absorboiman säteilyn suuruutta kuvaa pinnan absorptiokerroin, joka on eri

lyhyt- ja pitkäaaltoiselle säteilylle. Absorptiokerroin kuvaa, kuinka suuren osan materiaali absorboi säteilyn energiasta suhteessa pintaan tulevasta säteilystä. Lyhytaaltoisen säteilyn absorptiokerroin riippuu pinnan väristä. Vaaleilla pinnoilla absorptiokerroin on pienempi kuin tummilla pinnoilla. (Vinha 2014, s. 34-35)

Valoa läpäisemättömillä materiaaleilla pintaan absorboimaton säteily heijastuu pinnasta. Tätä ominaisuutta kuvaa materiaalin heijastuskerroin. Se kuvaa, kuinka suuri osa materiaalin pintaan osuvasta säteilystä heijastuu pinnasta. Materiaalitoimittajat ilmoittavat eristerappausjärjestelmissään käytettäville pinnoille valonheijastusarvon eli Y-arvon, jonka tulisi olla vähintään 20 % (Lahdensivu et al. 2016, s. 23). Tätä pienemmällä valonheijastusarvoilla pinta voi lämmetä liikaa absorption takia, ja pinta tulee erikoiskäsitellä esimerkiksi auringon suojamaalauksella. Paksurappaus-eristejärjestelmillä valonheijastusarvo voi olla pienempi kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä.

3.5 UV-säteily

UV-säteily on lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä. UV-säteily on peräisin auringosta. Se on haitallista etenkin julkisivuissa käytetyille orgaanisille materiaaleille, koska se kykenee katkomaan orgaanisten yhdisteiden sidoksia valokemiallisessa reaktiossa (Burström 1977, s. 12).

UV-säteilyn voimakkuus riippuu auringon korkeuskulmasta, pilvisyydestä, korkeudesta merenpinnasta, maan tai meren heijastavuusominaisuuksista sekä ilmakehän otsonimäärästä. Suomessa UV-säteily on suurinta kesäisin, koska auringon korkeuskulma on suurimmillaan, ja pienintä talvisin. (Ilmatieteen laitos, viitattu: 9.8.2018)

3.6 Pakkovoimat

Rappaukseen aiheutuu pakkovoimia, kun rappauksen liike on estetty kiinnityksen, liittyvien rakenteiden tai läpivientien ja varusteiden takia. Pakkovoimat aiheuttavat rappaukseen jännityksiä. Niitä voi syntyä muun muassa laastien kutistumisesta, lämpö- ja kosteusliikkeistä ja rappauksen painumisesta (Lahdensivu et al. 2016, s. 25-26). Ohutrappaus-eristejärjestelmissä pakkovoimia aiheutuu rappaukseen myös rappausalustan ja alusrakenteen liikkeistä. Lisäksi listojen ja profiilien lämpöliikkeet aiheuttavat pakkovoimia rappaukseen.

Merkittävimpiä pakkovoimia rappaukseen syntyy lämpöliikkeiden takia. Rappaukseen syntyy vetovoimia, kun lämpötila laskee. Vastaavasti lämpötilan noustessa rappaukseen syntyy puristusvoimia. Rappaukseen voi syntyä myös merkittäviä pakkovoimia laastien kutistuessa. Kutistumista voidaan pyrkiä vähentämään jälkihoidolla.

Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappauksen epätasainen kuivuminen aiheuttaa kutistumaeroja rappauksen sisä- ja ulkopinnan välillä. Ulkopinnan kuivuessa sisäpintaa nopeammin pyrkii rappauksen nurkat nousemaan. Mekaaniset kiinnikkeet estävät tätä liikettä, jolloin rappaukseen ulkopintaan syntyy vetojännityksiä. (Lahdensivu et al. 2016, s. 26)

Rappauksen painuminen on huomattavaa etenkin paksurappaus-eristejärjestelmissä. Niissä rappauksen painumiseen vaikuttaa kiinnityshakojen kulma, lämmöneristekerroksen paksuus sekä lämmöneristeen jäykkyysominaisuudet. Rappaus painuu sitä vähemmän mitä suurempi kiinnityshakojen kulma on, mitä pienempi lämmöneristekerroksen paksuus on ja mitä jäykempiä lämmöneristeet ovat. Rappauksen painuma kasvaa myös, jos lämmöneristys tehdään useammasta lämmöneristekerroksesta (Lahdensivu et al. 2016, s. 63). Tällöin lämmöneristekerrokset pääsevät liukumaan toistensa suhteen, jos kitka ei ole riittävä. Jotta painuminen pääsee tapahtumaan vapaasti eikä täten synny pakkovoimia, tulee vaakasuuntaisten liikuntasaumojen sekä sokkelin ja rappauksen välien olla tarpeeksi leveitä. Lisäksi sokkelipelti tulee kiinnittää rappausverkkoon.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappausalusta vaikuttaa myös pakkovoimiin sekä estämällä rappauksen liikkeitä että synnyttämällä pakkovoima omien muodonmuutoksiensa takia. Kun rappaus pyrkii venymään tai puristumaan, jäykempi rappausalusta vaatii suuremman jännityksen vastaavaan muodonmuutokseen kuin löysä alusta. Tällöin alusta estää rappauksen liikkeitä enemmän, jolloin rappaukseen syntyy myös suurempia jännityksiä. Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappausalusta jäykkyys on huomattavasti pienempi kuin itse rappauksen, joten se ei aiheuta rappaukseen pakkovoimia.

Rappausalustan ja alusrakenteen liikkeet aiheuttavat jännityksiä rappaukseen. Rappausalustan venyminen aiheuttaa vetojännityksiä rappaukseen. Puristuminen aiheuttaa vastaavasti puristusjännityksiä.

3.7 Ilmansaasteet ja -epäpuhtaudet

Ilman epäpuhtaudet vaurioittavat etenkin kalkkilaasteja. Ilman epäpuhtauksista merkittävimpiä ovat rikkiyhdisteet, kuten rikkidioksidi (SO_2) ja rikkitrioksidi (SO_3), typpiyhdisteet sekä hiilidioksidi (CO_2). (Silvennoinen & Pyy 1988, s. 10-14, viitattu Klemelä 1984 ja Winkler 1975). Rikkipäästöt ovat kuitenkin vähentyneet selvästi 2000-luvulla (Ympäristöhallinto, viitattu: 16.11.2018), joten ne eivät ole ongelma nykyisissä järjestelmissä. Muita ilman epäpuhtauksia ovat muun muassa katu- ja siitepöly.

4. ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN VAURIO- MEKANISMIT

Materiaali vaurioituu, jos rasiustaso, materiaaliominaisuudet sekä rakenteen ominaisuudet ovat sellaiset, että ne mahdollistivat vaurion. Materiaaliominaisuudet voivat jäädä puutteelliseksi vääränlaisista työmenetelmistä johtuen. Rakenteen toimivuuspuutteilla on suuri merkitys rasiustasoon, mutta myös rakenteen ominaisuuksiin. Toimivuuspuutteita aiheuttavat suunnittelu ja työvirheet.

Eristerappausjärjestelmät voivat vaurioitua monella eri tapaa. Keskeisimpiä vauriotyyppejä ovat rappauksen ja pinnoitteen halkeilu, pakkasrapautuminen, tartunnan heikkeneminen eri rappauskerrosten välillä tai pinnoitteen ja rappauksen välillä. Muita vauriotyyppejä ovat ihmisten ja eläinten aiheuttamat vauriot, kuten graffitit ja mekaanisten iskujen aiheuttamat vauriot, saumausten ja tiivistysten vauriot, kosteus- ja mikrobivauriot, materiaalien vanheneminen ja kemiallinen ja suolojen muodostumisesta aiheutuva rapautuminen. Lisäksi eristerappauksille esteettistä haittaa aiheuttaa julkisivujen likaantuminen, kasvillisuus ja leväkasvustot julkisivupinnoilla, härme, kirjavuus sekä työnsuorituksessa tehdyt virheet. Liitteeseen 3 on koottu eristerappausjärjestelmien vauriot sekä vaurioitumiseen vaikuttavat rasiustekijät, materiaaliominaisuudet ja rakenteen ominaisuudet sekä vaurioitumisesta aiheutuvat seuraamukset järjestelmien toimintaan.

4.1 Pakkovoimien aiheuttama halkeilu

Kuten edellä on kerrottu, pakkovoimat aiheuttavat rappaukselle puristus- ja vetojännityksiä. Rappaukseen syntyneet vetojännitykset voivat aiheuttaa rappauksen halkeilua, kun laastin vetolujuus ylittyy. Vetolujuus on suurempi orgaanisilla kuin epäorgaanisilla laasteilla.

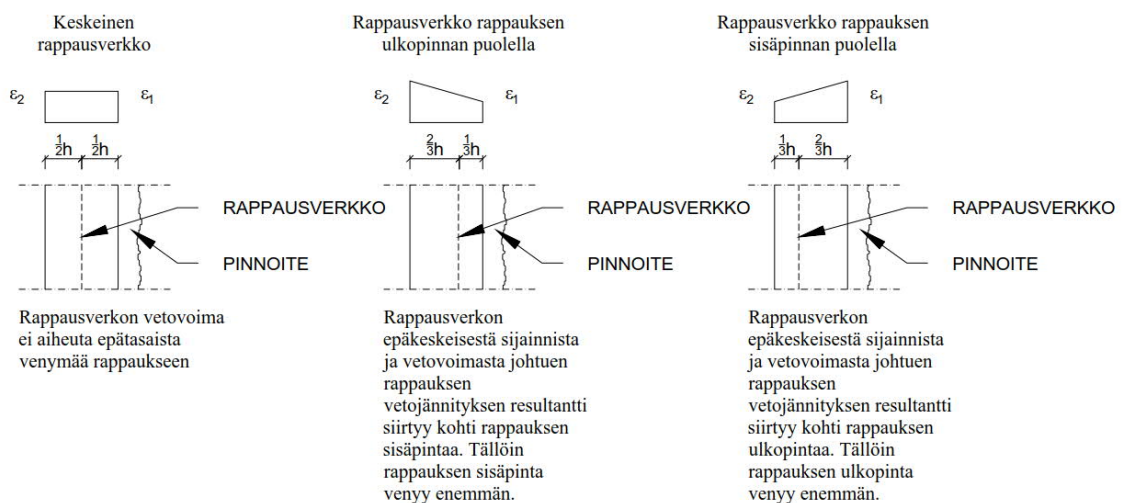
Laastin materiaaliominaisuuksista halkeamien muodostumiseen vaikuttaa laastin vetolujuus, murtovenymä, muodonmuutosominaisuudet, kutistumisominaisuudet ja lasittumislämpötila. Rappauksessa käytettävien laastien lujuus voi jäädä puutteelliseksi sekoituksesta, esivalmisteluista, työmenetelmistä, jälkihoidosta tai olosuhteista johtuen. Vastavasti rappausverkon materiaaliominaisuuksista halkeiluun vaikuttaa rappausverkon vetokestävyys, murtovenymä ja muodonmuutosominaisuudet.

Rakenteen ominaisuuksista halkeamien muodostumiseen vaikuttaa rappauksen paksuus, rappausverkon sijainti ja limittyminen toisiin rappausverkkoihin, rappausverkkojen määrä, rappauksen liikuntasaumajako sekä jännityspiikkejä aiheuttavat rakenteet. Jännityspiikkejä aiheuttavia rakenteita ovat esimerkiksi ikkuna- ja oviaukkojen nurkat sekä kapeat kannakset rappauksessa. Lisäksi ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappausalustan

epäjatkuvuuskohdat sekä lämmöneristeen mittapysyvyys ja muodonmuutosominaisuudet vaikuttavat halkeamien muodostumiseen. Kvande et al. (2018, s. 6) mukaan rappausverkon asennuksessa tehdyt virheet ja laastikerroksen liian ohut paksuus ovat yleisimpiä syitä rappauksen halkeiluun.

Rappauksen kerrospaksuuden tulee olla riittävä, jotta se kestää rappaukseen syntyviä vetovoimia halkeilematta. Kerrospaksuus ei kuitenkaan saa olla liian suuri, jotta rappausverkko ei katkea samalla, kun rappaukseen syntyy halkeamia. Tällöin halkeamaleveydet kasvavat suuriksi.

Rappausverkon oikea sijainti on nykykäsityksen mukaan rappauksen puolen välin ja uloimman kolmanneksen välissä niin ohut- kuin paksurappaus-eristejärjestelmissä. Kun rappausverkko sijaitsee rappauksen ulkopinnan puolella, verkko pienentää rappauksen ulkopinnan venymiä. Vastaavasti verkon sijaitessa rappauksen sisäpinnan puolella verkko kasvattaa ulkopinnan puoleisia venymiä. Tällöin halkeama muodostuu herkemmin ulkopinnan puolelle. Kuvassa 16 on esitetty rappausverkon sijainnin vaikutusta rappauksen venymäkäyttäytymiseen, kun rappaukseen oletetaan vaikuttavan keskeinen vetovoima ja rappausalustan tartuntaa ei ole otettu huomioon.



Kuva 16: Rappausverkon sijainnin vaikutus rappauksen venymäkäyttäytymiseen, kun rappauksa kuormittaa keskeinen voima ja rappausalustan tartuntaa ei ole otettu huomioon. Kun rappausverkko sijaitsee keskellä rappauksa, rappauksen ulko- ja sisäpinta venyvät yhtä paljon. Kun rappausverkko sijaitsee epäkeskeisesti rappauksessa, venyy kauempana verkosta sijaitseva pinta enemmän. Tällöin verkon sijaitessa rappauksen ulkopinnan puolella venyy rappauksen sisäpinta enemmän. Vastaavasti verkon sijaitessa rappauksen sisäpinnan puolella venyy rappauksen ulkopinta enemmän.

Rappausverkkojen tarvitsee limittyä keskenään riittävästi, jotta rappausverkon vetovoima pääsee siirtymään rappausverkosta toiseen. Sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä verkkoja limitetään noin 100 mm. Kokko & Lindberg (2001, liite 4) huomasivat tutkimuksessaan, että ohutrappaus-eristejärjestelmässä halkeamaväli on täysin kehitty-

neessä halkeilussa 2-4 verkon silmäväliä. Tutkimuksessa verkotuslaastikerroksen paksuus oli 3 mm. Halkeamavälien perusteella jännitys pystyy siis siirtymään verkosta rappaukseen 10-25 mm matkalla. Tällöin 100 mm limitys verkossa on riittävä, vaikka voimat eivät pystyisi siirtymään verkosta toiseen yhtä tehokkaasti kuin rappaukseen.

Rappausalustan epäjatkuvuuskohtien kohdalla rappaukseen voi syntyä muusta rappauksesta poikkeavia jännityksiä. Rappausalustan epäjatkuvuuskohtia ovat esimerkiksi lämmöneristeiden ja elementtien saumat, palokatkot tai muut rappausalustan raot. Epäjatkuvuuskohdissa rappaukseen syntyy vetojännityksiä, kun rappausalusta kutistuu. Vastavasti rappausalustan venyessä rappaukseen syntyy epäjatkuvuuskohdissa puristusjännityksiä, jos epäjatkuvuuskohdassa käytettävä materiaali pääsee puristumaan. Puristusjännitetty rappaus voi myös päästä lommahtamaan, kuten muutkin levyrakenteet. Kokko & Lindberg (2001, liite 4) huomasivat tutkimuksessaan, että 3 mm paksu verkotuslaasti voi lommahtaa yli 20 mm leveissä elementtisaumoissa. Lommahtamisen riskiä kasvattaa rappauksen huono tartunta rappausalustaan. Lommahtamiseen vaikuttaa laastikerroksen muodonmuutosominaisuudet ja paksuus.

Orgaanisten sideaineiden ominaisuuksiin kuuluu lasittumislämpötila, jonka alapuolella materiaalista tulee haurasta ja sen elastiset ominaisuudet heikkenevät. Lasittumislämpötila on tiedostettu monessa pinnoitteeseen liittyvässä tutkimuksessa, kuten Orantie (1987), Jolkkonen & Huovinen (2000) ja Grönroos & Huovinen (2001). Eristerappausjärjestelmissä tämän ominaisuuden vaikutusta halkeamien muodostumiseen ei ole kuitenkaan tutkittu.

Halkeilu aiheuttaa rappaukseen esteettistä haittaa, mutta se vaikuttaa myös merkittävästi rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Rappaukseen syntyneistä halkeamista sadevesi pääsee tunkeutumaan sisempiin rappauskerroksiin sekä rappausalustaan, joissa se voi aiheuttaa muita vaurioita tai tunkeutua edelleen alus- tai sokkelirakenteeseen. Suomessa rappauksen halkeilulle on asetettu vaatimukset, jotta halkeamat eivät heikentäisi rakenteen toimintaa. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä ja vettähylykivillä pinnoitteilla käsitellyissä rappauksissa sallittu halkeamaleveys on 0,05-0,1 mm. Muissa rappauspinnoissa sallittu halkeamaleveys on 0,2-0,3 mm. Kaikissa rappauksissa halkeamia saa esiintyä enintään 1 kpl/m², ja niiden pituus ei saa ylittää 1000 mm. (Lahdensivu et al. 2016, s. 27)

Rappauksen pinnoite voi myös halkeilla pakkovoimista ilman, että itse rappaukseen syntyy halkeamia. Tällöin pinnoitteen murtovenymä on pienempi kuin rappauksen, ja pinnoite on rappautusta jäykempi (Huovinen et al. 1998, s. 28). Lämpötilan pudotessa alle orgaanisen pinnoitteen lasittumislämpötilan tulee siitä hauraampi. Pinnoitteen halkeilu kasvattaa pinnoitteen alla olevan rappauksen kosteusrasitusta. Halkeilua voi syntyä myös sitoutumisen aikana, jos pinnoitteen kutistuminen on suurta (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 103). Tällöin maalissa on voinut olla liikaa liuotinta.

4.2 Plastinen halkeilu

Plastinen halkeilu on seurausta laastien sitoutumisen aikaisesta kutistumisesta. Kutistuminen on huomattavaa etenkin sementtilaasteilla. Kutistuminen johtuu laastin kuivumisesta ja sideaineiden sitoutumisesta. Plastista halkeilua voidaan vähentää lisäämällä laasteihin lisäaineita tai polymeerejä sideaineeksi sekä oikeanlaisella runkoainesjakaumalla. (Lutz & Bayer 2010, s. 546, 553 ja 556). Lisäaineista plastista halkeilua vähentävät kuidut (Lähdesmäki et al. 2014, s. 299).

Työnaikaisilla olosuhteilla ja jälkihoidolla on myös suuri vaikutus laastin kutistumiseen. Laastin liian nopea kuivuminen kasvattaa kutistumista ja sitä kautta plastista halkeilua. Liian nopean kuivumisen voi saada aikaan korkea ilman lämpötila, matala ilman suhteellinen kosteus, auringonpaiste, tuulisuus, puutteellinen jälkihoito tai tuoreen laastin kosteuden imeytyminen alustaan. Hidastimet kasvattavat laastin sitoutumisaikaa, jolloin plastisen halkeilun riski kasvaa. Kvande et al. (2018, s. 13) mukaan mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä laastit voivat myös kuivua liian nopeasti mineraalivillan absorboidessa laastin kosteutta. Tämä voi johtaa myös liian huokoiseen rappaukseen.

4.3 Pakkasrapautuminen

Rappauslaastien sisäistä halkeilua kutsutaan rapautumiseksi. Rapautuminen on seurausta laastin sisäisistä rasituksista, jotka aiheuttavat laastiin vetojännityksiä. Kun vetojännitys ylittää laastin vetolujuuden, syntyy halkeamia. Julkisivujen merkittävin rapautumismuoto on pakkasrapautuminen.

Veden jäätyessä sen tilavuus kasvaa noin 9 %. Jäätyminen saa aikaan laastin huokosverkostoon hydraulista painetta, jonka vaikutuksesta vesi pyrkii siirtymään huokosverkoston huokosiin, jotka eivät ole vielä täyttyneet vedellä. Jos laastin huokosverkosto on täyttynyt täysin vedellä, ei nestemäinen vesi pääse purkautumaan toisiin huokosiin. Tällöin laastiin syntyy sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat laastin rapautumista. Huokosveden jäätymlämpötila riippuu huokosen koosta. Jäätyminen tapahtuu ensin suurimmissa huokosissa. Kooltaan pienimpien kapillaarihuokosten vesi jäätyy noin -20 °C. (Pigeon & Pleau 1995, s. 3)

Pakkasrapautumisen kannalta keskeisimpiä rasitustekijöitä ovat kosteus- ja pakkasrasitus. Laasti pakkasrapautuu ainoastaan, jos se sisältää riittävästi kosteutta. Tätä kosteusmäärää kuvataan laastin kriittisellä vedellä kyllästymisasteella. Jos laastin vedellä kyllästymisaste on jäätyminen tapahtuessa suurempi kuin kriittinen vedellä kyllästymisaste, laasti vaurioituu. Vastaavasti, jos laastin vedellä kyllästymisaste on pienempi kuin kriittinen vedellä kyllästymisaste, laasti ei vaurioidu. (Fagerlund 1977, s. 217) Laastin kriittinen vedellä kyllästymisaste ei ole vakio vaan se vaihtelee olosuhteiden mukaan. Se on sitä pienempi mitä nopeammin materiaali jäätyy tai mitä alhaisempi lämpötila on (Vesikari 1986, s. 14).

Kriittisen vedellä kyllästymisasteen lisäksi laastin materiaaliominaisuuksista pakkasrapautumiseen vaikuttaa laastin vetolujuus, huokosverkoston rakenne, murtovenymä sekä muodonmuutosominaisuudet (Huovinen et al. 1998, s. 26). Huokosverkoston rakenteesta rapautumiseen vaikuttaa ilmahuokosten koko, jakauma ja määrä. Polymeerimodifioituilla laasteilla on parempi pakkasenkestävyys, koska laastit eivät ole yhtä huukoisia kuin sementtilaastit, koska polymeerit täyttävät laastin huokosia (Chandra & Ohama 1994, s. 130). Lisäksi pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyydellä on suuri merkitys laastin kuivumiseen ja sitä kautta laastin vedellä kyllästymisasteeseen. Kovalle alustelle tehdyissä rappauksissa huonosti vesihöyryäläpäisevät pinnoitteet ovat aiheuttaneet rappauksen pakkasrapautumista (Lahdensivu 2005, s. 9). Rappausalustan vedenimukyvyllä on myös merkitystä, koska hyvin vettä imevät alustat tasoittavat hydraulista painetta imemällä vettä itseensä (Huovinen et al. 1998, s. 26). Eristerappausjärjestelmissä käytettävät lämmöneristimet eivät kuitenkaan ime kapillaarisesti juurikaan kosteutta.

Rakenteen ominaisuuksista pakkasrapautumiseen keskeisimmin vaikuttaa kosteusrasitusta lisäävät rappauksen toimivuuspuutteet, kuten halkeamat, toimimattomat ja tiivistämättömät liitokset, pinnoitteen harvarakeisuus ja ohut paksuus sekä pohjusteaineen puuttuminen. Paikallisesti kosteusrasitusta kasvattaa myös etenkin mineraalivilla-alustaisissa eristerappausjärjestelmissä rappausalustan tiiviit vaakasuuntaiset epäjatkuvuuskohdat, joiden päälle rappausalustaan tunkeutunut vesi voi kerääntyä. Tällaisia kohtia rakennuksessa ovat esimerkiksi umpinaiset sokkelilistat ja -pellit (Piironen et al. 2003, s. 48).

Pakkasrapautuminen aiheuttaa rappauksen lujuuden heikkenemistä. Tällöin se ei enää sovellu esimerkiksi korjauksessa pinnoitteen tai uuden rappauskerroksen alustaksi. Alkanut pakkasrapautuminen ei näy ulos, koska pinnoite voi olla moitteettoman näköinen. Pitkälle edenneenä pakkasrapautuminen näkyy myös pinnoitteen ja rappauskerrosten irtoamisena, jolloin siitä tulee turvallisuus riski. Pinnoitteen ja rappauskerrosten irtoaminen aiheuttaa myös esteettistä haittaa.

Pakkasrapautumista voi tapahtua myös laastin ollessa plastista. Tällöin rappaus sisältää runsaasti kosteutta eikä sen lujuus ole vielä kehittynyt, joten jäätyminen on erityisen vahingollista (Huovinen et al. 1998, s. 26). Ilman ja rakenteen pinnan lämpötilan tulee olla ja pysyä yli 5 °C muutamia päiviä rappauksen levityksen jälkeen materiaalitoimittajan ohjeiden mukaisesti.

4.4 Muut rapautumalajit

Laastit voivat rapautua myös muilla tavoin, kuten suolanmuodostuksen, kemiallisen rasituksen ja kasvillisuuden takia. Nämä vauriomekanismit eivät kuitenkaan ole yhtä merkittäviä kuin pakkasrapautuminen.

Epäorgaaniset sementtilaastit sisältävät aina alkalisuoloja. Niiden kiteytyminen rappauksen sisällä voi aiheuttaa kiteytymispainetta, joka aiheuttaa laastien rapautumista. (Lahdensivu 2005, s. 51-52). Rapautumisen tehokkuutta lisää suolan sisältämä kidevesi, joka kasvattaa suolan tilavuutta. Esimerkiksi natriumsulfaatin kidevedettömän (Na_2SO_4) muodon tilavuus 314 % pienempi kuin kidevedellisen ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) (Chatterji & Jensen 1989, s. 56-57).

Kemiallista rapautumista tapahtuu epäorgaanisissa laasteissa ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta (Silvennoinen & Pyy 1988). Sementti- ja kalkkilaastien kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) reagoi rikkidioksidin tai rikkihapon kanssa muodostaen kalsiumsulfaattidihydraattia ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) eli kipsiä (Silvennoinen & Pyy 1998, s. 21-23, viitattu Amoroso & Fassina 1983). Kipsin tilavuus on suurempi kuin kalsiumkarbonaatin, minkä seurauksena rappaus rapautuu (Silvennoinen & Pyy 1998, s. 24, viitattu Lewin & Charola 1978).

4.5 Tartunnan heikkeneminen

Tartunta voi heiketä eri rappauskerrosten välillä, rappauksen ja pinnoitteen välillä, rappauksen ja rappausalustan välillä sekä ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappausalustan ja alusrakenteen välillä. Tartunnan heikkenemisen aiheuttaa tartunnan rajapintaan syntyvät leikkaus- ja vetovoimat. Nämä voimat voivat johtua monesta eri rasiustekijästä, kuten lämpöliikkeistä tai veden jääytymisestä.

Tartunta voi myös jäädä puutteelliseksi työntoteutuksessa. Puutteellinen tartunta nopeuttaa oleellisesti tartunnan heikkenemistä.

4.5.1 Pinnoitteen tai maalin irtoaminen ja puutteellinen tartunta

Pinnoitteet ja maalit voivat irrota rappauksesta kosteuden vaikutuksesta kahdella eri tavalla. Niiden alle kertynyt kosteus voi jäätyessään aiheuttaa pinnoitteen tai maalin ja rappauksen väliin vetojännityksiä, jotka voivat irrottaa pintakäsittelyn rappauksesta, tai tartunta voi heiketä kosteuden absorboituessa pinnoitteeseen (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 99 ja s. 102). Kosteutta kertyy enemmän huonosti vesihöyryäläpäisevien pinnoitteiden, kuten keinohartsipinnoitteiden, alle (Huovinen et al. 1998, s. 27).

Jatkuva kosteusrasitus heikentää orgaanisten pinnoitteiden ja maalien tartuntaa veden absorboituessa niihin. Tällöin ne menettävät lujuuttansa sekä turpoavat ja pehmenevät, jolloin tartunta rappaukseen heikkenee. Tällöin ne voivat irrota rappauksesta ulkoisen rasituksen seurauksena helpommin. Tartunta palaa pinnoitteen kuivussa, mutta jatkuva kastuminen ja kuivuminen haurastuttavat pinnoitetta tai maalia. Sideaineet, pigmentit ja muut pinnoitteiden tai maalien ainesosat vaikuttavat niiden turpoamisominaisuuksiin. Etenkin emäksiset sideaineet ja pigmentit edistävät turpoamista. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 99)

Vetojännityksiä pinnoitteen tai maalin ja rappauksen väliin voi syntyä myös epäorgaanisten laastien suojojen muodostumisesta, joka aiheuttaa kiteytymispainetta rappauksen ja pinnoitteen tai maalin väliin (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 102). Leikkausjännityksiä pinnoitteen tai maalin ja rappaukseen väliin voi syntyä esimerkiksi niiden kutistumisesta tai erisuurista lämpöliikkeistä verrattuna rappaukseen.

Pinnoitteen tai maalin irtoamiseen vaikuttaa paljon se, millainen tartunta niillä on muodostunut rappaukseen. Pinnoitteet ja maalit tarttuvat sideainemolekyylensä avulla rappauksen molekyyleihin fysikaalisten voimien avulla. Jotta tartunta pääsee muodostumaan, pitää molekyyliden päästä mahdollisimman lähelle toisiaan eli pinnoitteen tai maalin tulee kyetä kostuttamaan rappauksen pinta. Tällöin se syrjäyttää rappauksen pinnalla olevan ilman ja muut siihen absorboituneet aineet. Pinnoitteelta tai maalilta kostuttamiseen vaadittavaa pintajännitystä määritellään pinnan kriittisellä pintajännityksellä. Se tarkoittaa suurinta pintajännitystä, joka pinnalle leviävällä nesteellä voi olla, jotta se pystyy vielä kostuttamaan pinnan. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 55)

Pinnoitteen tai maalin muodostamaa tartuntaa parantaa myös rappauspinnan suuri ominaispinta-ala eli karheus. Vastaavasti rappauksen suuri kosteuspitoisuus heikentää tartuntaa, koska tällöin materiaalin huokokset ovat täynnä vettä ja kostuttamisen vaativaa imua ei muodostu. Tartuntaa heikentää myös pinnoitteen tai maalin karkea runkoaines tai muut ainesosat, jotka estävät sideaineiden molekyyliden pääsyn kosketuksiin rappauksen molekyyliden kanssa. Tartuntaa heikentää myös alustamateriaalin pinnalla oleva lika, rasva ja pöly, jotka estävät pinnoitteen tai maalin tarttumisen alustaan. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 55-57)

Pinnoitteen tai maalin irtoaminen näkyy ensin niiden kuplimisena, kun pinnoitteen tai maalin ja rappauksen väliin muodostuu rako. Lopulta pinnoite tai maali repeää muusta pinnasta ja tippuu alas. Tämä aiheuttaa julkisivulle sekä esteettistä haittaa että rappauslaastien kohonneen kosteusrasituksen.

4.5.2 Rappauskerrosten välinen tartunnan heikkeneminen ja puutteellinen tartunta

Rappauskerrosten välinen tartunnan heikkeneminen johtuu rappauskerrosten väliin syntyvistä veto- ja leikkausjännityksistä. Rappauskerrosten rajapintoihin voi syntyä vetojännityksiä esimerkiksi kosteuden jääytymisestä. Leikkausrasituksia voivat aiheuttaa vastaavasti rappauskerrosten eri suuret lämpöliikkeet (Huovinen et al. 1998, s. 28).

Rappauskerrosten väliseen puutteelliseen tartuntaan vaikuttaa työntoteutus. Ohutrappauseristejärjestelmissä verkotuslaasti levitetään ”märkää märälle” -periaatteen mukaan. Tällöin laastikerrosten välinen tartunta voi jäädä heikoksi, jos ensimmäinen rappauskerros pääsee sitoutumaan tai kuivumaan ennen toisen rappauskerroksen levittämistä.

Paksurappaus-eristejärjestelmiä ei tehdä ”märkkää märälle” -periaatteen mukaan vaan täyttö- ja pintarappaus tehdään edellisen rappauskerroksen sitouduttua. Tällöin alla oleva rappauskerros täytyy kostuttaa ennen uuden rappauskerron levittämistä, jotta sisempi rappauskerros ei ime kosteutta laastista, ja kosteus riittää laastin hydrataatioreaktioon. Tartuntaan vaikuttaa myös edellisen rappauskerroksen karheus, minkä takia täyttörappaus karhennetaan oikaisun jälkeen. Täyttörappauksen liiallinen työstö voi kuitenkin heikentää pintarappauksen tartuntaa, jos täyttörappauksen laasti pääsee erottumaan (Lahdensivu et al. 2016, s. 65). Täyttörappaus voidaan hiertää myös liian tasaiseksi, jolloin tartunta jää puutteelliseksi liian hienon pinnan takia. Tartuntaa heikentää myös rappauksen liian nopea kuivuminen sitoutumisen aikana, jolloin laasti ei pääse sitoutumaan pintaosiltaan täydellisesti. Liian nopeaa kuivumista voi aiheuttaa esimerkiksi puutteellinen jälkihoito, liian korkea lämpötila, tuulisuus, matala ilman suhteellinen kosteus tai voimakas aurin-
gonpaiste. Käsien levitetyssä rappauksessa myös laastin vetäminen lyömisen sijaan heikentää tartuntaa. (Huovinen et al. 1998, s. 87)

4.5.3 Rappauksen irtoaminen rappausalustasta ja puutteellinen tartunta

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappaus on yleensä kiinni rappausalustassaan ainoastaan laastikiinnityksellä, jolloin verkotuslaastin tartunnan heikkeneminen rappausalustasta on vakava turvallisuusriski. Rappaus voi irrota alustastaan esimerkiksi rappausalustan ja rappauksen eri suurten lämpöliikkeiden takia, jolloin rajapintaan syntyy leikkausjännityksiä (Lahdensivu et al. 2016, s. 23).

Verkotuslaastin tartunta rappausalustaan voi jäädä puutteelliseksi, koska rappausalustana käytetyt lämmöneristeet eivät juuri ime kapillaarisesti kosteutta, joka auttaisi tartunnan muodostumiseen. Tartuntaa heikentävät myös rappausalustan epäpuhtaudet, kuten hiontapöly, sekä UV-säteilyn vaurioittamat lämmöneristeet.

Työmenetelmillä on myös suuri merkitys tartunnan muodostumiseen. Verkotuslaasti tarttuu paremmin kiinni rappausalustaan, kun verkotuslaasti levitetään ruiskulla. Lisäksi mineraalivilla-alustaisissa ohutrappaus-eristejärjestelmissä villan hiominen voi katkoa villan kuituja, mikä heikentää tartuntaa.

Verkotuslaastin puutteellinen tartunta rappausalustaan voi aiheuttaa rappauksen irtoamista. Pahimmassa tapauksessa rappauksen irtoaminen julkisivun yläosissa voi aiheuttaa koko rappauksen vetoketjumurron.

4.5.4 Rappausalustan irtoaminen alusrakenteesta ja puutteellinen tartunta

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään liimalaasteja rappausalustan kiinnittämiseen alusrakenteeseen. Useissa järjestelmissä, mutta ei kaikissa, käytetään liimalaastin kanssa mekaanisia kiinnikkeitä rappausalustan kiinnittämiseen alusrakenteeseen, mikä varmistaa kiinnittymisen. Rappausalustan irtoamisen alusrakenteesta voi aiheuttaa rappauksen oman painon synnyttämät leikkausjännitykset rappausalustan ja alusrakenteen rajapinnassa tai tuulen imun aiheuttamat vetojännitykset.

Liimalaastin tartunta rappausalustaan voi jäädä puutteelliseksi samoista syistä kuin verkotuslaastin tartunta rappausalustaan. Lisäksi alusrakenteen epäpuhtaudet vaikuttavat tartunnan muodostumiseen. Rappausalustan irtoaminen alusrakenteesta aiheuttaa vakavan turvallisuusriskin.

4.6 Pinnoitteiden ja maalien liituuntuminen

Orgaaniset pinnoitteet ja maalit liituuntuvat, kun UV-säteily katkoo niiden sideaineiden sidosten välisiä liitoksia. UV-säteilystä haitallisinta on 290-400 nm:n aallonpituusalueella oleva säteily, koska tällä alueella säteilyn energia pystyy katkomaan useimpia polymeerien välisistä sidoksista, kuten hiili-hiili-, hiili-vety-, hiili-happi- ja hiili-typpi -sidoksia. Sidosten katkeillessa syntyy vapaita radikaaleja eli atomeja tai molekyyliä, joilla on pariton määrä elektroneja. Vapaat radikaalit pyrkivät muodostamaan uusia sidoksia, jolloin sidoksia voi katkeilla lisää. Hajoamisreaktiota kiihdyttää entisestään esimerkiksi vesi ja hiili-, rikki- sekä typpidioksidi. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 12-13) Sidosten katkeilu aiheuttaa pinnoitteiden ja maalien sideaineen kulumista ja pigmenttipitoisuuden kasvua. Tällöin pigmenttihiukkaset muodostavat pinnoitteen tai maalin pintaan pölykalvon. Tätä kutsutaan liituuntumiseksi. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 100-101)

Liituuntumisen nopeuteen vaikuttaa pinnoitteen tai maalin sideaine sekä pigmentit. Esimerkiksi keinohartsipinnoitteet liituuntuvat nopeammin kuin silikonihartsipinnoitteet. Jotkin pigmenteistä suojaavat sideainetta muuttamalla UV-säteilyn energian lämpöenergiaksi. Tällaisia pigmenttejä sisältävät pinnoitteet ja maalit liituuntuvat hitaasti, mutta niiden kiilto laskee nopeasti. Vastaavasti jotkin pigmenteistä aktivoituvat UV-säteilystä, jolloin ne kiihdyttävät sideaineen hajoamista. Tällaisia pigmenttejä sisältävät pinnoitteet ja maalit liituuntuvat nopeasti, mutta niiden kiilto laskee hitaasti. Kiillon alenemisen lisäksi liituuntuminen lisää pintojen likaantumista. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 100-101)

4.7 Pinnoitteiden ja maalien haurastuminen

Orgaaniset pinnoitteet ja maalit haurastuvat esimerkiksi UV-säteilyn, lämmön ja kosteuden vaikutuksesta. Haurastumisen seurauksena pinnoitteet ja maalit halkeilevat, hilseilevät, lohkeilevat ja kuoriutuvat. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 102-103) Haurastumisen saa aikaan pinnoitteiden ja maalien sideainerakenteen kemiallinen vanheneminen eli kemiallisen rakenteen muuttuminen. Vanheneminen voi tapahtua myös muilla säteilyn aallonpituuksilla kuin UV-säteilyn aallonpituudella. Lisäksi vanhenemistä voi aiheuttaa esimerkiksi mekaaninen rasitus, hapot, emäkset, happi, otsoni, hiilidioksidi ja mikrobit. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 11)

Kosteus ja happi hajottavat pinnoitteiden sideaineiden sidoksia, mikä saa aikaan sideaineen haurastumista. Reaktion nopeuteen vaikuttaa pinnoitteen sideaine. (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 103) Kuten edellä on kerrottu, myös toistuva orgaanisten pinnoitteiden kastuminen ja kuivuminen haurastuttavat pinnoitteita.

4.8 Julkisivujen likaantuminen

Julkisivujen likaantuminen on seurausta epäpuhtauksista, jotka kiinnittyvät julkisivupintaan. Tällaisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi katu- ja siitepöly. Likaantumisen nopeus riippuu pinnoitteen karkeudesta ja vedenimukyvyistä. Karkeat pinnat likaantuvat tasaisemmin kuin sileät pinnat. Vastaavasti vettä hyvin imevät pinnat likaantuvat tasaisemmin kuin vettähylkivät pinnat. (von Konow 1999, s. 35) Vettähylkivät pinnat likaantuvat kuitenkin hitaammin. Likaantumisen nopeuteen vaikuttaa myös pinnoitteen tai maalin liiutuuntuminen (Asp-Lehtinen et al. 1991, s. 101). Pigmentit vaikuttavat pinnan liiutuuntumiseen, mutta esimerkiksi titaanidioksidin anataasimuotoa voidaan käyttää likaantumisen ehkäisemiseen. Titaanidioksidin anataasimuoto muodostaa julkisivupintaan fotokatalyyttisen kalvon, joka hajottaa orgaanisia yhdisteitä. (Lutz & Bayer 2010, s. 553)

Julkisivupinnoilla valuvan veden mukana siirtyy epäpuhtauksia. Likaantuminen voi olla voimakkaampaa valumavesille altistuvilla julkisivupinnoilla, joihin huonosti toimivat liitokset kokoavat saderasitusta. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi ikkunoiden vesipeltien alapuoliset alueet. (von Konow 1999, s. 35) Vettähylkivät pinnoitteet aiheuttavat epäpuhtauksien kerääntymisen rappauspinnan epäjatkuvuuskohtiin, kuten saumoihin ja halkeamiin.

Likaantuminen ei ole vaurio vaan se aiheuttaa julkisivuille ainoastaan esteettistä haittaa. Se ei myöskään kasvata esimerkiksi rakenteen kosteusrasitusta, vaikka se voi kertoa paikallisesta korkeammasta kosteusrasituksesta.

4.9 Kasvillisuus ja leväkasvustot julkisivupinnoilla

Julkisivupinnoille voi muodostua otollisissa olosuhteissa sammal-, jäkälä- levä- ja muita kasvustoja, jotka ovat peräisin ilman mukana kulkevista itiöistä. Kasvustojen muodostumista nopeuttaa rappauksen korkea kosteuspitoisuus, lämpötila, varjoisuus ja pinnalla oleva orgaaninen lika (Väriteollisuusyhdistys ry 2012; von Konow 1999, s. 35). Kasvustojen muodostumiselle optimaaliset olosuhteet muodostuvat, kun rappauksen kosteuspitoisuus on yli 80 % ja lämpötila 15-30 °C (Johansson et al. 2010, viitattu Samson et al. 2002). Vaakapinnoille ja niiden läheisyyteen syntyy herkemmin kasvustoja etenkin, jos vaakapinnan vedenohjauksessa on puutteita. Leväkasvustoja esiintyy yleisimmin pinnoilla, joiden läheisyydessä on rehevää kasvillisuutta (Jukkola 1997, s. 75). Kasvustojen muodostumista voidaan ehkäistä likaantumisen tapaan käyttämällä pinnoitteiden ja maalien pigmenttinä titaanidioksidin anataasimuotoa (Lutz & Bayer 2010, s. 553).

Julkisivupintojen leväkasvustot ovat yleisempiä muualla Euroopassa, jossa lämpötila on otollisempi kasvustojen muodostumiselle kuin Suomessa. Esimerkiksi Ximenes et al. (2015, s. 2240) havaitsivat Portugalissa tekemässään tutkimuksessaan, että jopa 81 % tutkimuksen julkisivuista oli havaittavissa julkisivupintojen sienikasvustoja. Suomessa vuoden keskilämpötilat tulevat nousemaan ilmastonmuutoksen myötä. Muutos on huomattavampaa talvisin kuin kesäisin. (Jylhä et al. 2009, s. 11) Tällöin olosuhteet ovat pidempään syksyllä ja aikaisemmin keväällä otollisemmat kasvustojen muodostumiselle.

Kuten edellä kerrottiin, Etelä-Euroopassa eristerappausjärjestelmien pinnalle muodostuvat kasvustot ovat merkittävä esteettinen haitta, joten asiaa on myös tutkittu paljon. Barreira & de Freitas (2013, s. 38) havaitsivat tutkimuksessaan, että kasvillisuutta esiintyy useammin julkisivuilla, joiden kuivuminen on hitaampaa alhaisen lämpötilan takia. Julkisivun kosteus on peräisin viistosateesta sekä rappauksen ulkopintaan kondensoituvasta ulkoilman kosteudesta. Julkisivun lämpötilaan vaikuttaa vastaavasti sen absorboima auringon säteily. Tästä johtuen tutkimuksessa havaittiin, että kasvillisuutta esiintyy eniten pohjois- ja länsijulkisivuilla, vaikka kosteusrasitus voi olla suurempaa muilla julkisivuilla. Saman havaitsivat myös Holm et al. (2004) Saksassa tekemässään tutkimuksessaan. Johansson et al. (2010, s. 1159) havaitsivat Ruotsissa tekemässään kokeellisessa tutkimuksessa, että ohutrappaus-eristejärjestelmien rappausalustan matala lämpenemis-kerroin verrattuna kovalle alustalle tehtyihin rappauksiin kasvattaa rappauksen pintaan muodostuvien kasvustojen muodostumisen riskiä, koska pinnan kosteuspitoisuus on tällöin suurempi. Lisäksi he havaitsivat, että kasvustojen muodostumiselle herkempiä rakenteita ovat vaalea pintaiset rakenteet, koska tummapintaiset rakenteet absorboivat enemmän auringon säteilyä.

Julkisivupintojen kasvustot eivät aiheuta julkisivupinnoille vaurioita (Väriteollisuusyhdistys ry 2012; von Konow 1999, s. 35). Niiden aiheuttama haitta rajautuu esteettisiin haittoihin. Kasvustot kuitenkin kertovat julkisivun korkeasta kosteusrasitustasosta.

4.10 Ihmisten ja eläinten aiheuttamat vauriot

Ihmiset voivat aiheuttaa vaurioita eristerappausjärjestelmille mekaanisen rasituksen kautta sekä töhrimällä julkisivupintoja. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä on myös törmätty lintujen aiheuttamiin vaurioihin, kun linnut ovat nokkineet rappaukseen koloja ja repineet lämmöneristettä pesätarpeeksi.

Iskujen ja törmäysten seurauksena rappaukseen kohdistuu leikkaus- ja vetojännityksiä. Kun vetojännitys ylittää rappauksen vetolujuuden, syntyy rappaukseen halkeama. Vastaavasti leikkausjännityksen ylittäessä rappauksen leikkauskestävyyden, syntyy rappaukseen läpileikkautumista tai lohkeilua.

Iskun tai törmäyksen aiheuttaman voiman lisäksi rappauksen vaurioitumiseen vaikuttaa laastin leikkaus- ja vetolujuus, rappausverkon vetokestävyys ja rappausalustan jäykkyys. Rakenteen ominaisuuksista vaurioitumiseen vaikuttaa rappauksen paksuus ja rappausverkkojen määrä. Rappauksen paksuuden kasvattaminen pienentää rappaukseen syntyneitä leikkaus- ja vetojännityksiä.

Iskujen ja törmäysten aiheuttamat vauriot kasvattavat rakenteen kosteusrasitusta, kuten pakkovoimien aiheuttamat halkeamat. Niistä aiheutuu myös esteettistä haittaa.

Hankaava liike voi aiheuttaa pinnoitteen tai rappauksen kulumista. Kulumisen nopeuteen vaikuttaa pinnoitteen tai laastin lujuus. Rappauspinnan kulumisen aiheuttaa pääsääntöisesti esteettistä haittaa, mutta voimakas kulumisen voi lisätä rappauksen kosteusrasitusta, jos rappaus paljastuu tiiviin pinnoitteen alta.

Ihmiset voivat myös töhriä julkisivupintoja esimerkiksi graffiteilla. Graffitit aiheuttavat esteettistä haittaa. Niiden poistaminen voi vastaavasti vaurioittaa rappauksen pintaa mekaanisen rasituksen ja kosteusrasituksen takia. Rappauksen pinnassa voidaan käyttää graffiteilta suojaavia aineita, mutta ne voivat heikentää rappauksen kosteusteknistä toimintaa, kuten rakenteen kuivumista, joten niiden soveltuvuus järjestelmään tulee selvittää (Lahdensivu et al. 2016, s. 130-131).

4.11 Saumausten ja tiivistysten vauriot

Eristerappausjärjestelmien liikuntasaumoissa ja muissa tiivistyksissä käytettävät elastiset saumausmassat voivat vaurioitua halkeilemalla. Halkeilu voi tapahtua adheesioauriona massan tartunnan petettyä, koheesioauriona massan murtuessa tai halkeama voi syntyä rappaukseen (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 59, viitattu Jergling et al. 1988). Lisäksi elastiset saumausmassat ja paisuvat saumanauhat voivat vanhentua tai niiden asennuksessa voi olla puutteita.

Adheesiomurron muodostumiseen vaikuttaa saumausmassan tartuntavetojännitykset. Tartuntavetojännityksiin vaikuttaa saumausmassan jäykkyys sekä muodonmuutokset.

Saumaussmassan jäykkyyteen vaikuttaa saumauksen paksuus ja elastiset ominaisuudet. Saumaussmassan elastiset ominaisuudet voivat heikentää massan vanhenemisen myötä. Saumaussmassan muodonmuutoksiin vaikuttaa rappauksen liikkeet. Lisäksi työnsuorittamisen virheet voivat edistää vaurioitumista, koska huonosti tehdyt valmistelut heikentävät tartuntaa. (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 59, viitattu Jergling et al. 1988) Pinnoitteen tai maalin ja saumaussmassan sideaineella on myös suuri merkitys tartunnan muodostumiseen. Esimerkiksi silikonihartsipinnoitteisiin tarttuu ainoastaan silikonipohjaiset saumaussmassat. Kuvassa 17 saumaussmassan tartunta silikonihartsipinnoitteeseen on pettänyt. Kuvassa pinnoitteen pinnassa on nähtävissä myös jäähiutaleita, jotka ovat seurausta julkisivun pintaan kondensoituneesta ulkoilman kosteudesta.



Kuva 17: Elastisen saumausmassan murtuminen silikonihartsipinnoitteesta. Pinnoitteen pinnalla on nähtävissä jäähiutaleita, jotka ovat seurausta julkisivun pintaan kondensoituneesta ulkoilman kosteudesta.

Koheesiomurron muodostumiseen vaikuttaa saumauksen vetojännitykset, joihin vaikuttavat saumausmassan muodonmuutokset ja saumauksen paksuus. Koheesiomurto tapahtuu, kun vetojännitys ylittää saumausmassan vetolujuuden. Saumausmassan vetolujuus

voi pienentyä saumausmassan vanhenemisen ja ilmakuplien takia. (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 59, viitattu Jergling et al. 1988)

Saumausmassan aiheuttama rappauksen murtuminen johtuu liian suurista rappaukseen muodostuvista vetojännityksistä. Vetojännityksiin vaikuttavat saumausmassan jäykkyys, muoto ja muodonmuutokset. (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 59, viitattu Jergling et al. 1988)

UV-säteily vanhentaa saumausmassoja, kuten orgaanisia pinnoitteitakin. Vanhenemisen seurauksena ne liituuntuvat, niiden väri muuttuu ja niistä tulee hauraampia, jolloin niiden elastiset ominaisuudet heikkenevät. (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 17-18) Vanheneminen voi johtua myös muista tekijöistä, kuten korkeasta lämpötilasta, hapettavista aineista, kuten hapestasta ja otsonista, hapoista sekä emäksistä. (Pentti & Haukijärvi 2000, s. 18-22).

Saumausmassan muodonmuutosten aiheuttamiin jännityksiin vaikuttaa sauman leveys. Kapeilla saumoilla suhteellinen muodonmuutos on suurempi kuin leveillä saumoilla, joten saumausmassaan syntyvät jännitykset ovat suurempia.

Elastisten saumausmassojen vaurioituminen on haitallista, koska halkeilu kasvattaa kosteuden tunkeutumista rappausalustaan ja imeytymistä rappaukseen. Tällöin julkisivut eivät toimi kosteusteknisesti suunnitellun laisesti.

4.12 Kosteus- ja mikrobivauriot

Rakennuksen kosteus- ja mikrobivaurioilla tarkoitetaan usein rakenteessa olevaa mikrobikasvustoa, joka aiheuttaa rakennukseen mikrobiperäisen sisäilmaongelman (Pirinen 2006, s. 17-19). Rakennuksen mikrobikasvustoja ovat esimerkiksi home-, hiiva- ja bakteerikasvustot (Asumisterveysopas 2008, s. 145). Ne vaativat syntyäkseen riittävän kosteuspitoisuuden, oikeanlaisen lämpötilan ja happipitoisuuden sekä ravinteita (Leivo 1998, s. 40 ja s. 48). Lisäksi rakennusmateriaalin homehtumisherkkyys vaikuttaa mikrobivaurioiden syntyyn (Vinha et al. 2013, s. 17). Rakenteen kosteuspitoisuuteen vaikuttaa sen kosteustekninen toiminta.

Eristerappausjärjestelmien kosteus- ja mikrobivaurioita on tutkittu laskennallisesti betoni- ja puurunkoisten rakennusten osalta. Vinha et al. (2013, s. 160) mukaan betonirunkoisissa eristerappausjärjestelmissä ei esiinny homeita, kun rakenteen oletetaan toimivan ideaalisesti eli sadevesi ei pääse tunkeutumaan rappauksen taakse halkeamista tai toimimattomista liitoksista. Kosteus- ja mikrobivaurion kannalta rakenteen kriittisin kohta on rappauksen ja lämmöneristeen rajapinta. Tutkimuksessa havaittiin, että homehtumiselle herkimpiä rakenteita ovat paksurappaus-eristejärjestelmät, joissa ei ole käytetty pinnoitetta vaan pintarappaus on toteutettu jalolaasteilla.

Vaikka Vinha et al. (2013) eivät havainneet tutkimuksessaan homeen kasvua, voi rappausalustassa syntyä homeenkasvulle otolliset olosuhteet. Tutkimuksessa oli oletettu, että

rakenteet toimivat ideaalisesti. Tällöin rakenteen sisään ei pääse tunkeutumaan muun muassa viistosadetta. Olsson (2013 ja 2017) havaitsi tutkimuksissaan, että halkeamien kautta rakenteen sisään voi tunkeutua jopa lähes 2 % julkisivun viistosademäärästä, ja että julkisivun liitokset vuotavat lähes aina. Tällöin eristerappausjärjestelmiin kohdistuu todellisuudessa suurempi kosteusrasitus. Koska rakenteen kuivuminen on hidasta, voivat olosuhteet rappausalustassa muodostua homeen kasvulle otollisemmiksi. Homehtumista tapahtuu tällöin ensin homehtumislukaltaan herkemmissä materiaaleissa, jotka ovat rappausalustan sisässä. Tällaisia materiaaleja voivat olla esimerkiksi puiset ikkunan apukarmit.

Puurunkoisten eristerappausjärjestelmien kosteusteknistä toimivuutta on tutkittu laskennallisesti Mäkitalon (2012) diplomityössä. Tutkimuksessa havaittiin, että ideaalisesti toimivissa ohutrappaus-eristejärjestelmissä tuulensuojan sisäpinnassa voi esiintyä paikoin mikroskoopilla havaittavaa homekasvustoa, jos tuulensuojana käytetään kipsilevyä. Vastaavasti pinnaltaan huokoisissa paksurappaus-eristejärjestelmissä runkotolpan ulkopintaan ja runkotolpan välissä olevien mineraalivillojen ulkopintaan voi muodostua silmin havaittavaa homekasvustoa jo ideaalisesti toimivassa rakenteessa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että rappauksen taakse tunkeutunut lisäkosteus kasvattaa sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä rakenteen homehtumista tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa. 20 kg/m^3 lisäkosteus kasvatti kaikkien tutkittujen rakenteiden homeen muodostumisen silmin havaittavalle tasolle. 20 kg/m^3 lisäkosteus vastaa 1 kg/m^2 lisäkosteutta tutkimuksessa käytetyssä 50 mm paksussa rappausalustassa. Tutkimuksessa lisäkosteuden vaikutuksen tarkastelu homehtumiseen on tehty kuitenkin ainoastaan vuoden 2100 ilmastoskenaariolla A2, joka edustaa pessimististä tulevaisuuden näkymää (Ilmasto-opas, viitattu: 8.8.2018). Tällöin ilmasto-olosuhteiden muuttuminen on huomattavasti nopeampaa verrattuna muihin ilmastoskenaarioihin eivätkä olosuhteet vastaa nykyilmastoa (Ruosteenoja et al. 2013, s. 37). Lisäksi tutkimuksessa rappausalustan takana on käytetty ainoastaan tuulensuojakipsilevyä, joka on erityisen herkkä mikrobikasvustoille (Pasanen et al. 1998, s. 152). Künzel & Zirkelbach (2008) havaitsivat laskennallisessa tutkimuksessaan, että 1 % vuoto viistosademäärästä kasvattaa kosteus- ja mikrobivaurioriskiä puurankaisissa eristerappausjärjestelmissä, joissa rappausalusta on kiinnitetty lastulevyyn.

Ruotsissa puurankaisissa eristerappauksissa on havaittu monissa rakennuksissa kosteus- ja mikrobivaurioita. Ruotsin noin 13 000 eristerapatusta pientalosta arviolta noin kolmanneksessa oli korkea kosteuspitoisuus vuonna 2009 tehdyn tutkimuksen mukaan (Boverket 2009, s. 42). Ruotsissa rappausalustan takana on käytetty kuitenkin materiaaleja, jotka homehtuvat herkästi tai siirtävät kapillaarisesti kosteutta, kuten kipsilevyjä, vanereja ja lastulevyjä. Yleisimmin on käytetty kipsilevyä. Ruotsissa pientalojen eristerappauksissa on havaittu paljon halkeilua ja puutteita liitosten toiminnassa. (Jansson & Hansén 2015) Puurankaisten julkisivujen kosteus- ja mikrobivauriot ovat yleisiä myös Pohjois-Amerikassa (Künzel & Zirkelbach 2008, s. 1).

Kosteus- ja mikrobivauriot aiheuttavat rakennuksille sisäilmaongelmia. Eristerappausjärjestelmien alusrakenteena on kuitenkin yleensä betoninen rakenne, joka toimii samalla rakennuksen vaippana. Ilmavuotoja voi tapahtua kuitenkin harvavaluisista elementtien saumoista, alusrakenteen halkeamista sekä ikkuna- ja ovikarmeista.

4.13 Härme

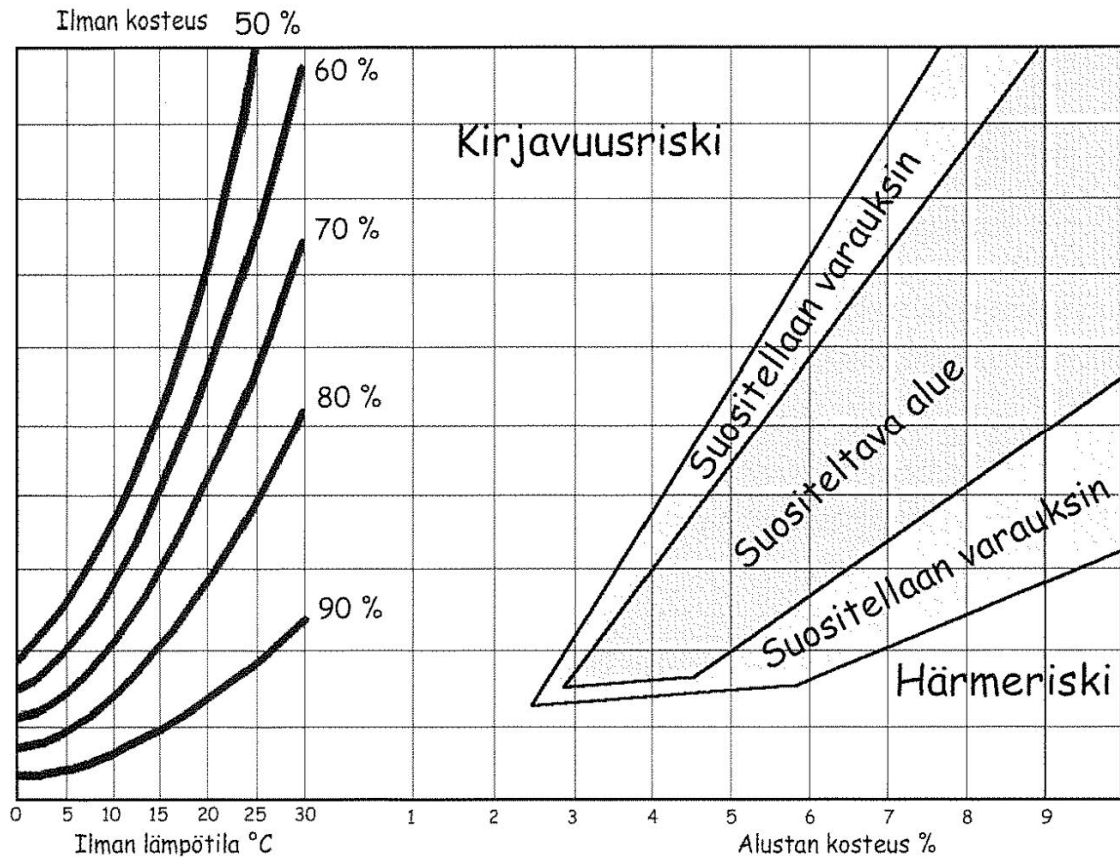
Härme on julkisivupinnoille kiteytyneitä suoloja. Härmetä syntyy, kun rappauksen sisältämään veteen liuenneet suolat kulkevat kosteuden mukana rappauksen pintaosiin. Kosteuden haihtuessa suolat pääsevät kiteytymään, jolloin muodostuu härmettä. (Chatterji & Jensen 1989, s. 56) Härmeen muodostumista kasvattaa rappauksen suuri kosteuspitoisuus, joka voi olla peräisin esimerkiksi maaperästä tai huonosti toimivista pellityksistä.

Härmeet voidaan jakaa alkalihärmeisiin ja kalkkihärmeeseen. Härmeet ovat väriltään vaaleita. (Lahdensivu 2005, s. 51) Tällöin ne näkyvät selkeämmin värillisiltä julkisivupinnoilta.

Epäorgaaniset sementtilaastit sisältävät aina alkalisuoloja. Tyypillisimpiä alkalisuoloja ovat natriumsulfaatit (Na_2SO_4) ja natriumkarbonaatit (Na_2CO_3) (Chatterji & Jensen 1989, s. 56). Alkalihärmeet eivät kiinnity tiukasti rappauksen ulkopintaan ja ne liukenevat veteen, jolloin sadevesi ja tuuli irrottavat niitä julkisivupinnasta (Lahdensivu 2005, s. 51).

Kalkkihärme muodostuu, kun laastin kalsiumhydroksidi ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) reagoi ilman hiilidioksidin (CO_2) kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia (CaCO_3) eli kalkkikiveä. Härmeeksi kiteytynyt kalsiumkarbonaatti on vaikea irrottaa rappauksen pinnalta eikä se liukene veteen. (Lahdensivu 2005, s. 51)

Työnaikaista härmeen muodostumista voidaan ehkäistä kiinnittämällä huomiota työnaikaisiin olosuhteisiin (Lahdensivu et al. 2016, s. 67-68). Härmeriskää kasvattaa korkea ilman suhteellinen kosteus, matala lämpötila ja korkea alustan kosteuspitoisuus. Kuvassa 18 on rappausavain, joka kertoo rappauksen härme- ja kirjavuusriskistä erilaisissa olosuhteissa.



Kuva 18: Rappausavain. (Kuva: Lahdensivu 2005, s. 52)

Härmeitä muodostuu jalolaasteilla pintarapattujen paksurappaus-eristejärjestelmien ulkopintaan. Muilla tavoin pinnoitetuissa järjestelmissä se voi aiheuttaa pinnoitteen irtoamista. Härmeen muodostuminen aiheuttaa rakenteelle ainoastaan esteettistä haittaa. Koska härmeet vaativat muodostuakseen kosteutta, kertovat ne kuitenkin rappauksen korkeasta kosteuspitoisuudesta (Huovinen et al. 1998, s. 34).

4.14 Kirjavuus

Värillisiä epäorgaanisia pinnoitteita käytettäessä voi julkisivupinnasta tulla kirjava. Tällöin julkisivusta tulee läikikäs eli pinnoitteeseen tai pintarappaukseen muodostuu sävyeroja. Kirjavuus näkyy selkeämmin käytettäessä tummia julkisivupinnoitteita ja pintarappauslaasteja. (Lahdensivu et al. 2016, s. 67-68)

Kirjavuuden muodostumiseen vaikuttaa työnaikaiset olosuhteet ja työmenetelmät. Kirjavuusriskiä kasvattaa matala ilman suhteellinen kosteuspitoisuus, korkea lämpötila ja matala alustan kosteuspitoisuus. Kirjavuusriskiä kasvattaa myös alustan kosteuspitoisuuden vaihtelut ja epätasainen imu (Brasholz et al. 1985, s. 51). Kirjavuutta voi aiheuttaa myös hiertopintaisten rappauksen epätasainen hierto (Huovinen et al. 1998, s. 34). Kirjavuus aiheuttaa julkisivuille ainoastaan esteettistä haittaa.

4.15 Lämmöneristeiden vanheneminen ja muiden ominaisuuksien heikkeneminen

Lämmöneristeiden mekaaniset ominaisuudet voivat heikentyä sisäisten muutoksen seurauksena iän myötä. Tätä kutsutaan materiaalien vanhenemiseksi. Materiaalit voivat vanhentua mekaanisen, fysikaalisen tai kemiallisen rasituksen seurauksena. Fysikaalisia rasituksia ovat esimerkiksi lämpö ja kosteus. Niiden aiheuttama vanheneminen ei ole kuitenkaan pysyvää, jos materiaali ei ehdi vaurioitua ennen rasituksen poistumista. Kemiallinen vanheneminen on aina palautumatonta, koska se vaurioittaa materiaalin kemiallista rakennetta. (Bonten & Berlich 2001, s. 10)

Lämmöneristeiden kemiallista vanhenemistä aiheuttaa esimerkiksi auringon UV-säteily. Muita kemiallista vanhenemistä aiheuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpö, muu sähkömagneettinen säteily, hapettuminen, kemialliset aineet sekä vesi (Bonten & Berlich 2001, s. 28).

Koska lämmöneristeet siirtävät rappausten kuormia alusrakenteeseen sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä, vaikuttaa niiden vanheneminen esimerkiksi rappausten painumiseen. Lisäksi ohutrappaus-eristejärjestelmissä, joissa lämmöneristeet osallistuvat enemmän kuormien siirtymiseen, lämmöneristeiden vanheneminen heikentää rappausten ja lämmöneristeiden kiinnittymistä. Huomattava lämmöneristeiden vanheneminen aiheuttaa turvallisuusriskin.

Vanhenemisen lisäksi lämmöneristeiden muut ominaisuudet voivat heikentää. Esimerkiksi korkea kosteuspitoisuus lämmöneristeessä kasvattaa lämmöneristeen lämmönjohtavuutta.

4.16 Rappausverkkojen vaurioituminen

Paksurappaus-eristejärjestämien rappausverkot ovat kuumasinkittyjä teräsverkkoja. Kuumasinkitys suojaa teräsverkkoa korroosiolta. Sinkitys voi kuitenkin vauriota työntöteutuksen aikana esimerkiksi rappausverkkojen käsittelystä johtuen, jolloin rappausverkko voi hapettua paikallisesti.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytettävät rappausverkot ovat muovipinnoitettuja tai muulla tavoin alkalinkestäviä lasikuituverkkoja. Lasikuiturappausverkot voivat kuitenkin vanhentua, kuten muutkin materiaalit. Rappausverkon vanheneminen saattaa aiheuttaa rappausverkon katkeamisen halkeaman kohdalta, jolloin halkeamaleveydet kasvavat.

4.17 Mekaanisten kiinnikkeiden vaurioituminen

Paksurappaus-eristejärjestelmissä käytettävät kiinnikkeet on tehty ruostumattomasta teräksestä. Tällöin kiinnikkeisiin ei muodostu korroosiota normaaliolosuhteissa.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien kiinnikkeet on valmistettu pääsääntöisesti muovista. Kiinnikkeiden mekaaniset ominaisuudet voivat heikentyä vanhenemisesta johtuen, jolloin niiden kyky siirtää kuormia alusrakenteeseen heikkenee.

Sekä paksurappaus- että ohutrappaus-eristejärjestelmien kiinnikkeiden vaurioituminen heikentää rappauksen ja rappausalusta kiinnittymistä alusrakenteeseen. Tämä aiheuttaa turvallisuusriskin.

4.18 Työnsuorituksesta aiheutuvat esteettiset haitat

Eristerappausjärjestelmiin voi aiheutua esteettistä haittaa myös työnsuorituksessa tehdyistä virheistä. Tällaisiin esteettisiin haittoihin ei vaikuta ulkoiset rasitustekijät, materiaaliominaisuudet tai rakenteen ominaisuudet.

Työnsuorituksesta aiheutuvia esteettisiä haittoja ovat pinnan epätasaisuus, pinnoitteen harvarakeisuus ja värivirheet sekä kiinnikkeiden ja lämmöneristeiden läpikuultaminen. Taulukossa 11 on esitetty työnsuorituksesta aiheutuvien esteettisten haittojen muodostumiseen vaikuttavat tekijät sekä niiden vaikutus järjestelmien toimintaan.

***Taulukko 11:** Työnsuorituksesta aiheutuvien esteettisten haittojen muodostumiseen vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutus järjestelmien toimintaan.*

Työnsuorituksesta aiheutuvat esteettiset haitat	Vaikuttavat tekijät	Seuraamukset järjestelmän toimintaan
Pinnan epätasaisuus	<ul style="list-style-type: none"> - Alusrakenteen pinnan tasaisuus - Rappausalustan tasaisuus - Rappaustyön laatu 	Esteettinen haitta
Pinnoitteen harvarakeisuus	<ul style="list-style-type: none"> - Ruiskutuspain - Ruiskutuskulma - Ruiskutusetaisyys - Ruiskutuskertojen lukumäärä 	Esteettinen haitta Kosteustekninen toiminta <ul style="list-style-type: none"> - Kosteuden imeytyminen rappaukseen lisääntyy
Pinnoitteen värivirheet	<ul style="list-style-type: none"> - Pinnoitekerroksen paksuus - Ruiskutuskulma - Ruiskutusetaisyys - Ruiskutuspain - Ruiskutuskertojen lukumäärä 	Esteettinen haitta
Kiinnikkeiden ja lämmöneristeiden läpikuultaminen (Ohutrappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Ohut verkotuslaastikerroksen paksuus - Ohut pinnoitekerros - Kiinnikkeiden pinta-asennus 	Esteettinen haitta

5. TUTKIMUSAINEISTO

5.1 Kuntotutkimus- ja kuntoarvioraportit ja muu eristerappausjärjestelmien vaurioihin liittyvä aineisto

Eristerappausjärjestelmien yleisimpien vaurioiden selvittämisessä hyödynnetään toteutuneiden kuntotutkimusten ja -arvioiden raportteja sekä muita eristerappausjärjestelmien vaurioitumiseen liittyviä dokumentteja. Tutkimuksen aineisto koostuu 24 eristerappausjärjestelmällä toteutetusta kohteesta.

Kohteiden eristerappaukset ovat valmistuneet vuosien 2001-2012 välillä. Yhden kohteen eristerappauksen valmistumisvuodesta ei ole tietoa. Kohteille on tehty tarkasteluja vuosien 2008-2018 välillä, jolloin ne ovat olleet iältään 1-16 vuotta vanhoja. Kohteista 19 on toteutettu ohutrappaus-eristejärjestelmillä ja 5 paksurappaus-eristejärjestelmillä. Ohutrappaus-eristejärjestelmillä toteutetuista kohteista 16 on toteutettu mineraalivilla-alustalle ja 3 EPS-alustalle. Mineraalivilla-alustalle toteutetut kohteet olivat tarkasteluajankohtana keskimäärin 6,4 vuotta vanhoja ja EPS-alustalle toteutetut kohteet 10,3 vuotta vanhoja. Ohutrappaus-eristejärjestelmillä toteutetuista kohteista 5 on uudisrakennuksia, ja niiden kaikkien rappausalustana on mineraalivilla. Loput ohutrappaus-eristejärjestelmäkohteet ovat korjauskohteita. Paksurappaus-eristejärjestelmillä toteutetuista kohteista yksi on uudisrakennus ja muut korjauskohteita. Yhden ohutrappaus-eristejärjestelmällä toteutetun kohteen alusrakenteena on puuranka. Kaikkien muiden kohteiden alusrakenne oli kiviaines pohjainen.

Kohteiden eristerappauksen valmistumisvuosi, kohteen tyyppi, tarkasteluajankohta sekä aineiston tyyppi on esitetty taulukossa 12. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä on esitetty myös rappausalustan materiaali. Taulukossa kuntotutkimuksella tarkoitetaan rakentamiseen kohdistuvaa tutkimusta, jossa on hyödynnetty sekä silmämääräisiä että rakennetta rikkovia menetelmiä. Kuntoarviolla tarkoitetaan vain silmämääräisesti tehtyä tutkimusta, mutta tutkimus on tehty koko rakennukselle. Vauriokartoituksella tarkoitetaan näkyvien vaurioiden paikallista silmämääräistä tutkimista. Kohdenumero 15:n alusrakenne on puuranka.

Taulukko 12: Tutkimusaineiston kohteiden eristerappauksen valmistumisvuosi, rappausalusta, kohteen tyyppi, tarkastusajankohta ja aineiston tyyppi.

Kohde	Eristerappauksen valmistumisvuosi	Rappausalusta	Kohteen tyyppi	Tarkastusajankohta	Aineiston tyyppi
Ohutrappaus-eristejärjestelmät					
1	2002	Mineraalivilla	Korjaus	2009	Vauriokartoitus
2	2002	EPS	Korjaus	2011	Kuntotutkimusraportti
3	2003	Mineraalivilla	Korjaus	2009	Kuntotutkimusraportti
4	2004	Mineraalivilla	Korjaus	2012	Kuntotutkimusraportti
5	2004	EPS	Korjaus	2017	Kuntotutkimusraportti
6	2005	EPS	Korjaus	2014	Kuntotutkimusraportti
7	2006	Mineraalivilla	Korjaus	2012	Vauriokartoitus
8	2006	Mineraalivilla	Korjaus	2012	Kuntoarvio
9	2006	Mineraalivilla	Uudis	2016	Kuntotutkimusraportti
10	2007	Mineraalivilla	Korjaus	2011	Kuntotutkimusraportti
11	2007	Mineraalivilla	Korjaus	2017	Kuntotutkimusraportti
12	2007	Mineraalivilla	Korjaus	2017	Kuntoarvio
13	2007	Mineraalivilla	Uudis	2017	Kuntotutkimusraportti
14	2008	Mineraalivilla	Korjaus	2009	Vauriokartoitus
15	2010	Mineraalivilla	Korjaus	2013	Kuntoarvio
16	2011	Mineraalivilla	Uudis	2015	Mallityökatselmus
17	2011	Mineraalivilla	Uudis	2018	Korjaustyöselostus
18	2012	Mineraalivilla	Uudis	2016	Kuntotutkimusraportti
19	?	Mineraalivilla	Korjaus	2008	Kuntoarvio
Paksurappaus-eristejärjestelmät					
20	2001		Korjaus	2010	Kuntoarvio
21	2001		Korjaus	2010	Kuntoarvio
22	2001		Korjaus	2017	Kuntotutkimusraportti
23	2003		Korjaus	2012	Kokousmuistio
24	2011		Uudis	2013	Kuntoarvio

Tutkimuksen aineisto ei ole kattava. Suurin osa tutkimusaineistosta ei ole kuntotutkimusraportteja. Tällöin rakenteen vaurioista selviää ainoastaan silmämääräisesti havaittavat vauriot.

5.2 Kohdekäynnit

Kuntotutkimus- ja kuntoarvioraporttien lisäksi tutkimusaineistoa kerättiin kohdekäynneillä. Kohdekäyntien vaurioita ei ole käsitelty tuloksissa muun aineiston kanssa, koska vaurioiden havainnointi perustuu kohdekäynneillä suppeaan maasta tapahtuvaan tarkasteluun.

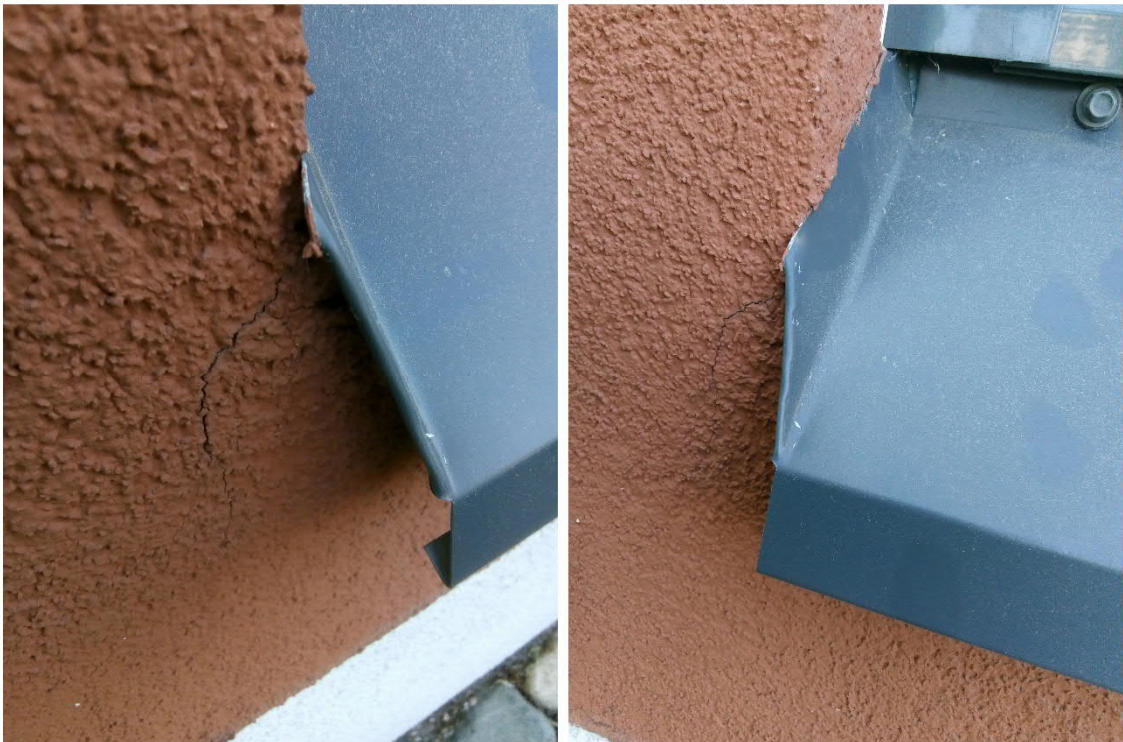
Kohdekäyntien aineistoa hyödynnetään havainnollistamaan eristerappausjärjestelmien tyypillisimpiä vaurioita. Luvassa 6 on esitetty kohdekäynneillä havaittuja tyypillisimpiä ohutrappaus-eristejärjestelmien vaurioita. Luvassa 7 on esitetty kohdekäynneillä havaittuja tyypillisimpiä paksurappaus-eristejärjestelmien vaurioita.

6. ESIMERKKEJÄ OHUTRAPPAUS-ERISTEJÄRJESTELMIEN VAURIOSTA

6.1 Halkeilu

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä halkeilua voi esiintyä monessa eri julkisivun kohdassa. Halkeiluun johtaneita syitä on myös monia.

Aukkojen, kuten ikkunoiden ja ovien, nurkat ovat alttiina halkeamien syntymiselle jännityspiikkien takia. Jännitykset ovat sitä suurempia mitä suurempi aukkojen koko on. Kuvassa 19 rappaukseen on syntynyt halkeama ikkuna-aukon alareunan nurkkaan. Kuvasta on hyvä kiinnittää huomiota myös siihen, että ikkunan vesipelti on toteutettu puutteellisesti ilman rappausreunaa. Vesipellin ja rappauksen väliä ei ole myöskään tiivistetty.



Kuva 19: Rappauksen halkeama ikkuna-aukon nurkassa.

Kapeiden ikkuna- tai muiden kannasten poikkisuuntaan voi muodostua halkeilua, kun kannas liittyy suurempaan julkisivuosaan. Tällöin kannaksen päihin syntyy aukkojen nurkkien tapaan jännityspiikkejä. Kuvassa 20 rappaus on haljennut kapean kannaksen yläreunasta.



Kuva 20: Rappauksen halkeama kapean kannaksen yläreunassa.

Halkeilua syntyy myös rappausalustan epäjatkuvuuskohtiin. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi lämmöneristeiden ja elementtien saumat, rappausalustan raot sekä kohdat, joissa rappausalustan materiaali muuttuu toiseksi. Kuvassa 21 rappaus on haljennut elementtisauman kohdalta. Elementtisaumoissa rappaukseen syntyy jännityksiä esimerkiksi elementin kutistumisen seurauksena. Kuvan kohde on uudiskohde.



Kuva 21: Rappauksen halkeama elementtisaumassa.

Kuvassa 22 rappaus on haljennut sekä vaaka- että pystysuunnassa lämmöneristeen saumasta. EPS-lämmöneristeen saumoihin syntyy suurempia jännityksiä lämmöneristeen lämpö- ja kosteusliikkeiden tai kutistumisen takia. Halkeilu voi johtua myös lämmöneristeiden välissä olevista raoista (Kvande et al. 2018, s. 10).



Kuva 22: Rappauksen vaaka- ja pystysuuntaista halkeilua lämmöneristeen saumassa.

Kuvissa 23 ja 24 rappaus on haljennut rappausalustan muuttuessa toiseksi. Kuvassa 23 rappaukseen on syntynyt halkeama rappausalustan vaihtuessa mineraalivillasta levyyn. Kuvassa 24 rappaus on haljennut rappausalustan muuttuessa EPS:stä mineraalivillan julk-

kisivun palokatkossa. Halkeamat osoittavat, että kahden eri rappausalustan muodostamaan saumaan muodostuu suurempia jännityksiä rappausalustojen erilaisten elastisten ominaisuuksien sekä lämpö- ja kosteusliikkeiden takia.



Kuva 23: Rappauksen halkeama rappausalustan vaihtuessa.



Kuva 24: Rappauksen halkeilua ja laastin pakkasrapautumista palokatkon kohdalla.

Rappaukseen syntyy leveitä halkeamia rungon liikuntasauojen kohdalle, jos rappaukseen ei ole tehty liikuntasauamaa. Kuvassa 25 rappauksessa on halkeama rungon liikuntasauaman kohdalla.



Kuva 25: Leveä halkeama rungon liikuntasauaman kohdalla.

Halkeilua syntyy myös rappauksen liittymisessä toisiin rakennusosiin, jolloin halkeilua aiheuttaa eri rakenneosien erilaiset liikkeet. Kuvassa 26 rappaukseen on syntynyt halkeama saumauksen vieressä, koska sauma on jäänyt liian kapeaksi.



Kuva 26: Rappauksen halkeama parvekelaatan ja rappauksen välisen elastisen saumausmassan vieressä.

Halkeilua esiintyy varsin yleisesti rappauksen sokkeliliittymässä. Rappaukseen aiheutuu jännityksiä sokkeliprofiilin lämpöliikkeiden tai rappauksen vääränlaisen kiinnityksen takia. Kuvassa 27 rappaus on haljennut sokkeliprofiilin laipan yläreunan kohdalta. Kuvassa 28 rappaukseen on muodostunut halkeama, koska rappaus on kiinnitetty jäykästi ikkunaprofiililla sokkelin päälle asennettuun vesipeltiin. Kvande et al. (2018, s. 10) huomasivat myös tutkimuksessaan, että rappausverkon limittymisessä sokkeliprofiiliin on puutteita, jolloin rappaukseen voi syntyä halkeilua. Nykyisin ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään aloituslistaa sokkeliprofiilin kanssa varmistamaan rappausverkon limittyminen sokkeliprofiilin.



Kuva 27: Rappauksen halkeama sokkeliprofiilin laipan yläreunan kohdalla.



Kuva 28: Rappauksen halkeama vääränlaisen kiinnityksen takia.

Rakennuksen ulkokulmiin voi syntyä halkeilua julkisivujen erisuuntaisista liikkeistä, jotka aiheuttavat rappaukseen jännityksiä. Kuvassa 29 on esitetty rakennuksen ulkokulman halkeilua.



Kuva 29: Rakennuksen ulkokulman halkeilua.

Halkeilua voi syntyä myös läpivientien läheisyyteen, jos läpivienti ei salli rappauksen liikkeitä. Kuvassa 30 rappaus on haljennut ilmanvaihtoventtiilin kohdalta.



Kuva 30: Rappauksen halkeilua ilmanvaihtoventtiilin kohdalla.

Listojen ja profiilien jatkoskohtiin voi syntyä halkeilua listojen ja profiilien liikkeistä. Kuvassa 31 rappaukseen on syntynyt halkeama sokkeliprofiilin jatkoskohdassa.



Kuva 31: Rappauksen halkeama sokkeliprofiilin jatkoskohdassa.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä voi esiintyä myös julkisivupintojen epäsäännöllistä ja laaja-alaista halkeilua. Tällainen halkeilu voi johtua monesta eri syystä, kuten esimerkiksi laastin plastisesta halkeilusta tai liian ohuesta verkotuslaastikerros paksuudesta. Kuvassa 32 rappaus on halkeillut keskellä julkisivua epäsäännöllisesti ja laaja-alaisesti.



Kuva 32: Rappauksen epäsäännöllistä ja laaja-alaista halkeilua.

Ihmisten aiheuttamat iskut ja törmäykset aiheuttavat myös rappauksen halkeilua, läpileikkautumista ja lohkeilua. Tyypillisimmin niitä esiintyy liikennöityjen alueiden julkisivuissa ja parvekkeiden taustapinnoissa. Kuvassa 33 vasemmalla on iskun aiheuttamaa rappauksen läpileikkautumista ja oikealla lohkeilua.



Kuva 33: Mekaanisten iskujen aiheuttamia vaurioita. Vasemman puoleisessa tapauksessa isku on aiheuttanut rappauksen läpileikkautumisen. Oikeanpuoleisessa tapauksessa isku on aiheuttanut rappauksen lohkeamisen.

6.2 Kosteuden aiheuttamat vauriot

Rappauksen halkeamat ja toimimattomat liitokset kasvattavat verkotuslaastiin imeytyvän ja rappausalustaan tunkeutuvan kosteuden määrää. Kosteusrasitus aiheuttaa eristerappausjärjestelmille paljon muita vaurioita, kuten laastin pakkasrapautumista ja pinnoitteen irtoamista. Lisäksi kosteusrasitus aiheuttaa julkisivupinnoille esteettistä haittaa, kuten kasvustoja ja likaantumista. Kuvassa 32 on rappauksen pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa, joka on aiheuttanut myös pinnoite ja laastikerrosten irtoamista.



Kuva 34: Rappauksen pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa sekä pinnoite ja laastikerosten irtoamista.

Pakkasrapautuminen on havaittavissa ensimmäiseksi julkisivujen alueilla, joissa verkotuslaastin kosteusrasitus on kohonnut. Kuvassa 35 rappaus on pakkasrapautunut rappauksen halkeamien läheisyydessä. Kuvan tapauksessa halkeamien sijainti seinän yläosissa sekä mahdollisesti räystäältä valuva vesi nostavat verkotuslaastin kosteusrasitusta.



***Kuva 35:** Rappauksen halkeilua ja pakkasrapautumista julkisivun yläosassa.*

Rappauksen kosteusrasitusta nostaa myös rappauksen jatkuminen maanpinnan alle, jolloin pintavedet ja lumen sulamisvedet pääsevät imeytymään verkotuslaastiin. Kuvassa 36 rappaus on pakkasrapautunut rappauksen jatkuessa maanpintaan asti. Kvande et al. (2018, s. 7) tutkimuksen mukaan kosteuden nousu maasta ja rappauksen pakkasrapautuminen oli melko yleinen syy järjestelmien vaurioitumiseen Norjassa.



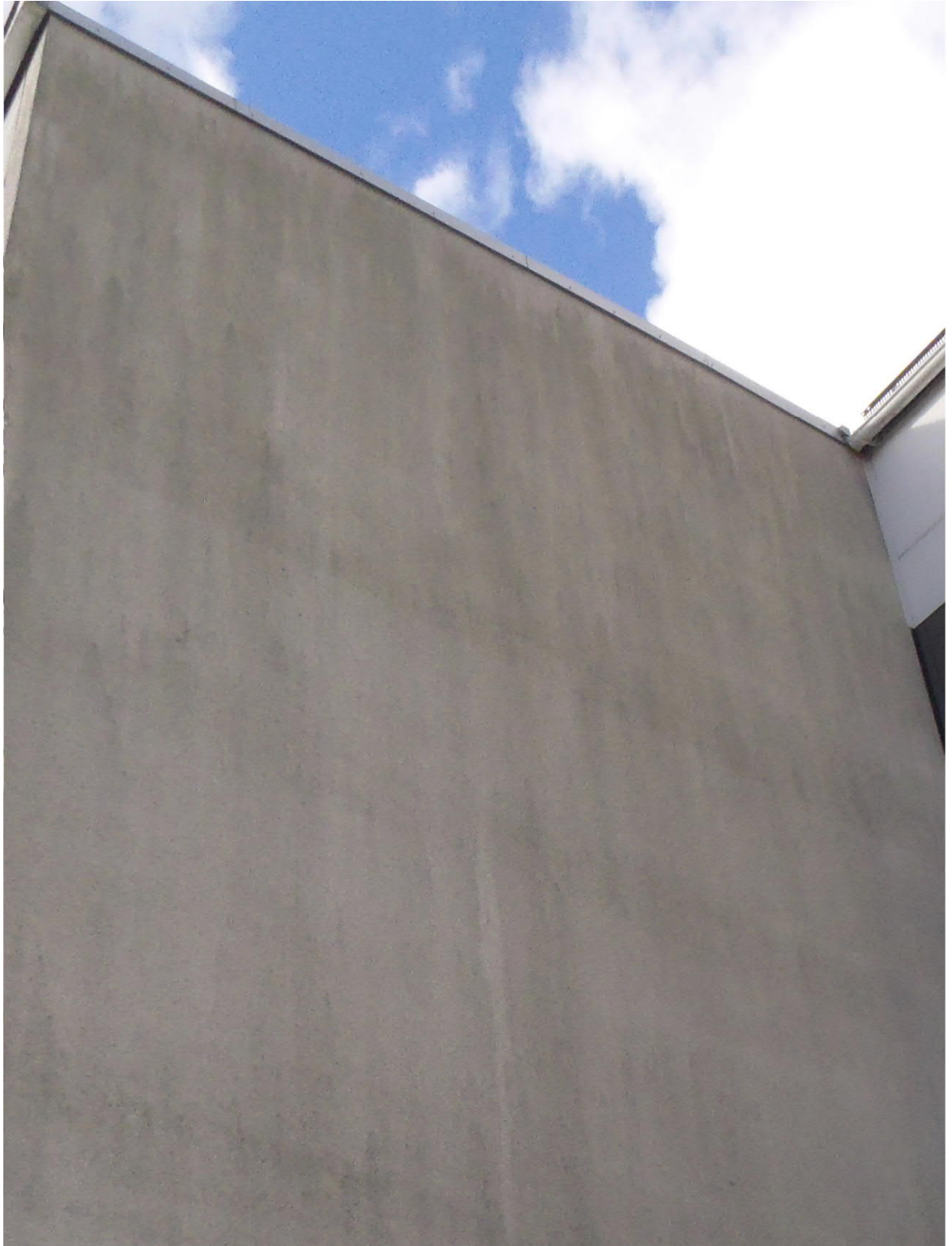
***Kuva 36:** Rappauksen rapautuminen rappauksen jatkuessa maanpintaan asti.*

Liitosten toimivuuspuutteet lisäävät myös rappauksen kosteusrasitusta. Kuvassa 37 rappaus on pakkasrapautunut sokkeliliitoksessa käytetyn pellin päältä, koska liitos ei mahdollista kosteuden poistumista rappausalustasta. Kuvassa pellin kallistus on myös puutteellinen. Lisäksi se muodostaa rappauksen eteen tason, johon lumi ja sadevesi pääsevät kerääntymään.



***Kuva 37:** Rappauksen pakkasrapautumista pellityksen toimivuuspuutteen takia.*

Julkisivujen likaantuminen ja leväkasvustot ovat molemmat kosteuden aiheuttamia esteettisiä haittoja. Kuvassa 38 on esitetty julkisivun voimakasta likaantumista. Kuvassa 39 on esitetty julkisivun leväkasvustoa. Kuvan tapauksessa rappauksen kosteusrasitus on kohonnut, koska venttiilin kautta sisäilmankosteus tiivistyy kylmässä ulkoilmassa rappauksen pintaan.



Kuva 38: Julkisivun epätasaista likaantumista.



Kuva 39: Julkisivun leväkasvustoa.

Rappauksen taakse tunkeutunut tai tiivistynyt kosteus voi valua rappausalustassa etenkin, kun rappausalusta on mineraalivillaa. Eristekerroksessa valuvat vedet voivat tunkeutua

sisätilan huoneisiin esimerkiksi elementtisaumojen halkeamista, ja aiheuttaa siellä erilaisia haittoja, kuten pintojen likaantumista tai kosteus- ja mikrobivaurioita. Kuvassa 40 on esitetty rakennuksen sisään tunkeutunutta kosteutta.



Kuva 40: *Kosteuden tunkeutumisesta rakennuksen sisään aiheutuneita valumajälkiä.*

7. ESIMERKKEJÄ PAKSURAPPAUS-ERISTEJÄRJESTELMIEN VAURIOISTA

7.1 Halkeilu

Paksurappaus-eristejärjestelmissä ei kohdekäyntien perusteella esiinny yhtä paljon halkeilua kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Halkeamia esiintyy samoissa paikoissa kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, mutta halkeilua esiintyy myös poikkeavissa paikoissa.

Paksurappaus-eristejärjestelmissä syntyy pystysuuntaisia halkeamia liikuntasaumakenttien reunoille ja rakennuksen nurkkiin. Samaan havainnon ovat tehneet myös Piironen et al. (2003, s. 48) tutkimuksessaan. Kuvassa 41 on rakennuksen nurkkiin syntyneitä pystysuuntaisia halkeamia.



Kuva 41: Julkisivun nurkkiin syntyneitä pystysuuntaisia halkeamia.

Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappaus painuu enemmän kuin ohutrappaus-eristejärjestelmissä. Tällöin rappaukseen voi syntyä jännityksiä, jos rappauskenttien tai rappauk-

sen ja sokkelin välissä ei ole tarpeeksi liikevaraa tai sokkelipelti on kiinnitetty alusrakenteeseen. Kuvissa 42 ja 43 rappaus on halkeillut sokkeliliitoksen päältä. Kuvan 43 tapauksessa saumausmassa on puristunut täysin kokoon.



Kuva 42: Rappauksen lohkeama sokkeliliitoksen yläpuolella.



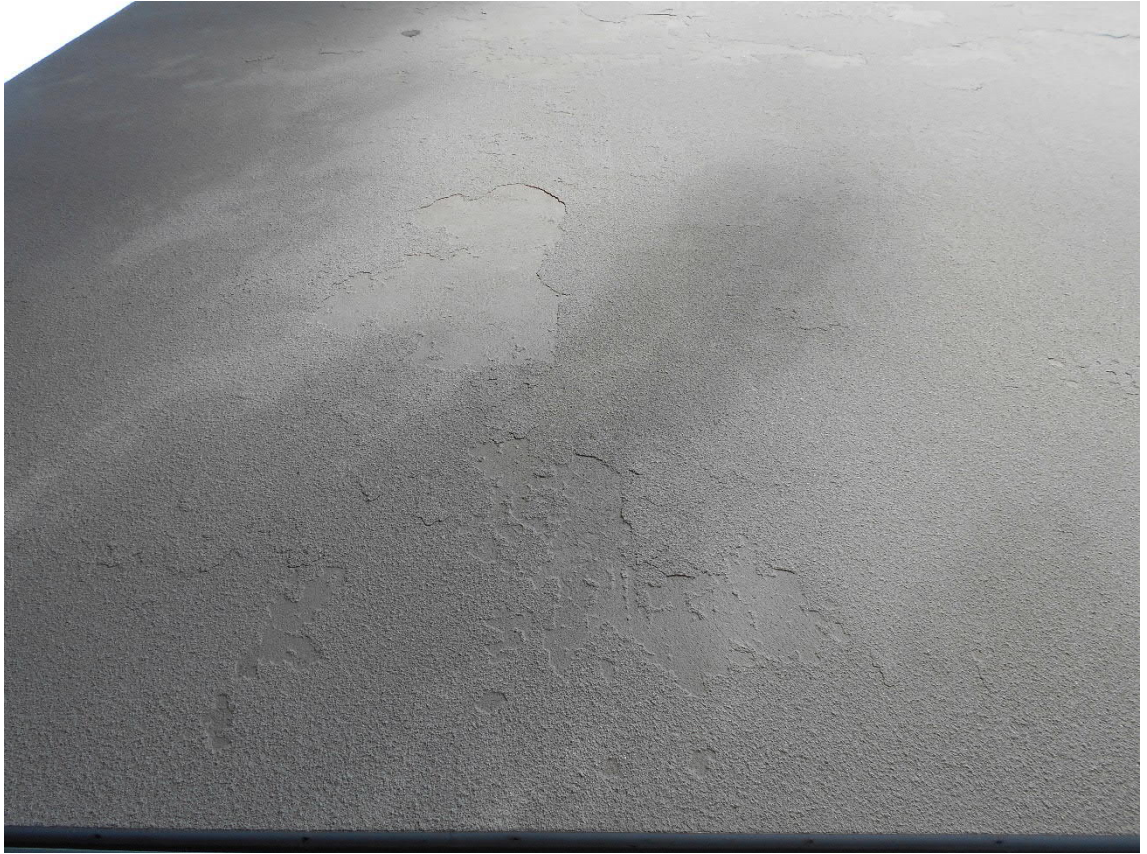
Kuva 43: Rappauksen halkeama sokkeliliitoksen yläpuolella.

7.2 Kosteuden aiheuttamat vauriot

Kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä, myös paksurappaus-eristejärjestelmissä kosteus aiheuttaa rappaukselle vaurioita. Kohdekäyntien perusteella yksi paksurappaus-eristejärjestelmien näkyvimmistä vaurioista on pintarappauksen irtoaminen. Pinnoitteen irtoaminen voi johtua kosteuden lisäksi myös muistakin rasiustekijöistä, kuten lämpö- ja kosteusliikkeistä. Lisäksi työnsuorituksen virheet vaikuttavat pinta- ja täyttörappauksen väliseen tartuntaan. Kuvissa 45 ja 46 on esitetty pintarappauksen irtoamista. Kuvassa 45 irtoaminen on tapahtunut ainoastaan julkisivun yläosissa, minkä selittää suurempi viistosaderasitus. Kuvassa 46 irtoamista on tapahtunut koko julkisivupinnalla, jolloin kyseessä on todennäköisemmin työvirhe.



Kuva 44: Pintarappauksen irtoamista julkisivun yläosissa.



Kuva 45: Pintarappauksen irtoamista.

Kohdekäyntien perusteella paksurappaus-eristejärjestelmien ulkopinnassa esiintyy paikoin runsaasti leväkasvustoja etenkin pystysuuntaisten saumaamattomien liikuntasaumojen vieressä. Kuvassa 46 on leväkasvustoa julkisivujen pystysuuntaisten liikuntasaumojen kohdalla.

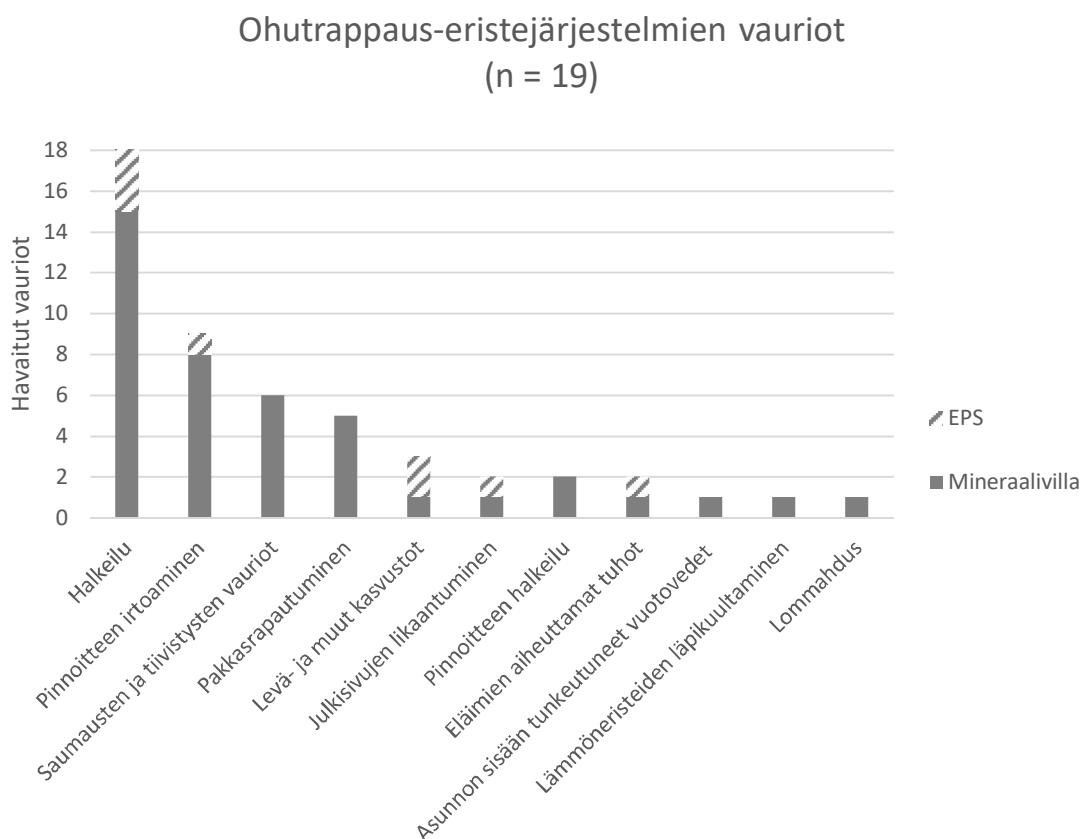


Kuva 46: Julkisivujen leväkasvustoja.

8. TULOKSET

8.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot

Aineiston perusteella ohutrappaus-eristejärjestelmien tyypillisin vaurio on rappauksen halkeilu. Yhtä kohdetta lukuun ottamatta kaikissa tutkimusaineiston kohteissa oli havaittavissa rappauksen halkeilua (95 %). Aineiston toiseksi yleisin vauriotyyppi on pinnoitteen irtoaminen (47 %), kolmanneksi yleisin saumausten ja tiivistysten vaurioituminen (32 %) ja neljänneksi yleisin pakkasrapautuminen (26 %). Kuvassa 47 on esitetty aineiston kohteissa havaitut vauriot.

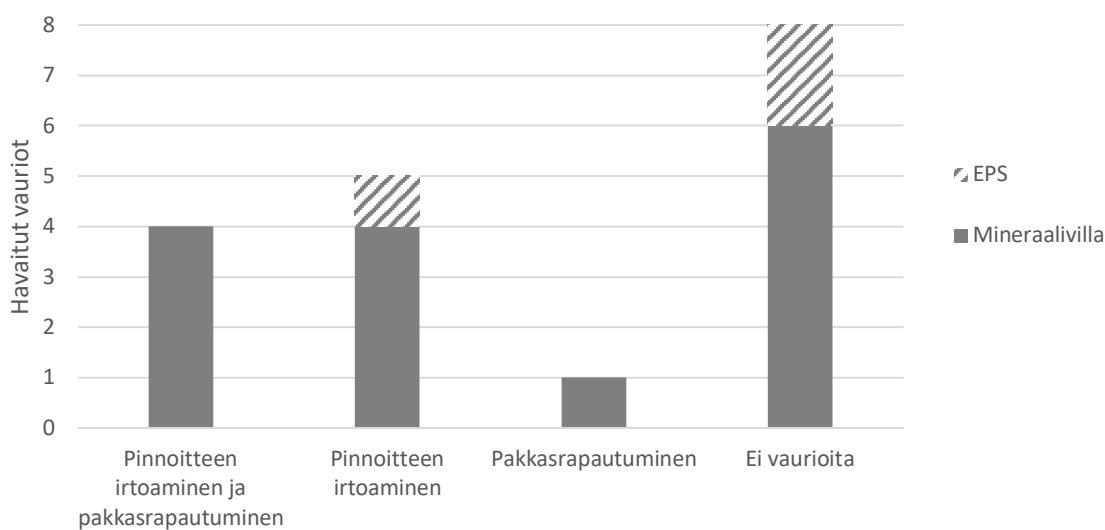


Kuva 47: Ohutrappaus-eristejärjestelmien vauriot kuntotutkimusraporttien perusteella (n = 19). Mineraalivilla-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty yhtenäisellä harmaalla värillä. EPS-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty vinoviivoituksella.

Kuntotutkimusraporttien perusteella rakennuksista löytyi halkeilun lisäksi keskimäärin 1-2 muuta vauriota. Ainoastaan kahdessa aineiston rakennuksessa ei ollut mainittu muita vaurioita halkeilun lisäksi.

Rappauksen halkeilu mahdollistaa sadeveden imeytymisen verkotuslaastiin ja tunkeutumisen rappausalustaan. Verkotuslaastiin imeytynyt kosteus kasvattaa kosteuden aiheuttamien vaurioiden, kuten pakkasrapautumisen ja pinnoitteen irtoamisen, muodostumisen riskiä. Kuvassa 48 on esitetty pinnoitteen irtoaminen tai pakkasrapautuminen aineiston kohteissa, joissa on havaittu halkeilua.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien pinnoitteen irtoaminen ja pakkasrapautuminen (n = 18)



Kuva 48: Pinnoitteen irtoaminen tai pakkasrapautuminen kohteissa, joissa on havaittu halkeilua (n = 18). Mineraalivilla-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty yhtenäisellä harmaalla värillä. EPS-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty vinoviivituksella.

Aineiston kohteista kymmenessä havaittiin pinnoitteen irtoamista (50 %) tai pakkasrapautumista (28 %). Neljässä kohteessa (22 %) havaittiin molemmat näistä. Näistä kaksi olivat uudiskohteita. Kahdeksassa kohteessa (44 %) ei havaittu pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista. Pakkasrapautuneista kohteista kolmelle oli tehty ohuthietutkimus. Ohuthietutkimuksissa laastien pakkasenkestävyysominaisuuksissa ei kuitenkaan havaittu merkittäviä puutteita. Kohteissa, joissa oli havaittu pinnoitteen irtoamista, kuudesta oli tehty ohuthietutkimus. Kahdessa tutkimuksessa laastin pakkasenkestävyysominaisuuksissa oli puutteita. Toinen näistä kohteista oli EPS-alustainen. Kohteissa, joissa ei havaittu pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista, ei oltu tehty ohuthietutkimusta.

Pakkasrapautumista ei havaittu EPS-alustaisissa ohutrappaus-eristejärjestelmissä, vaikka ne edustivat aineistossa iäkkäimpiä kohteita. Pinnoitteen irtoamistakin havaittiin ainoastaan yhdessä EPS-alustalle toteutetussa kohteessa. EPS-alustaisissa kohteissa havaitut

muut vauriot olivat esteettisiä haittoja sekä eläinten aiheuttamia vaurioita. EPS-alustaisissa järjestelmissä nousee esiin suurempi levä- ja muiden kasvustojen osuus (67 %) verrattuna mineraalivilla-alustaisiin järjestelmiin (6 %). EPS-alustaisissa kohteissa, joissa oli havaittavissa levä- ja muita kasvustoja, kasvustot olivat muodostuneet hyvin paikallisesti halkeamien ympärille.

Mineraalivilla-alustaisissa kohteissa, joissa oli havaittavissa pinnoitteen irtoamista, havaittiin sitä kahta kohdetta (75 %) lukuun ottamatta sokkeliliitoksen yläpuolella. Toisessa näistä kohteissa pinnoite oli irronnut rappauksen jatkuessa maanpinnan alapuolelle EPS-lämmöneristeen päältä ja toisessa kohteessa elementtisauman kohdelle muodostuneen halkeaman kohdalta. Aineiston kaikissa kohteissa ei otettu kantaa siihen, mikä on aiheuttanut pinnoitteen irtoamisen sokkeliliitoksen yläpuolelta. Kohteissa, joissa asiaan on kuitenkin otettu kantaa, irtoamisen arvellaan johtuvan rappausalustaan tunkeutuneista ja eristetilassa valuvista sadevesistä. Kohteissa, joissa oli havaittu pinnoitteen irtoamista sokkeliliitoksen yläpuolella, havaittiin yhtä kahta lukuun ottamatta pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista myös muilla julkisivun osilla (67 %). Tällöin aineiston perusteella pinnoitteen irtoamista havaittiin usein halkeamien läheisyydessä.

Taulukossa 13 on esitetty eri tavalla pakkasrapautuneiden tai pinnoitevaurioituneiden kohteiden iän otoskeskiarvo ja -hajonta tutkimusajankohtana. Taulukosta nähdään, että kohteissa, joissa havaittiin sekä pinnoitteen irtoamista että pakkasrapautumista, kohteiden iän otoskeskiarvo on pienin verrattuna muihin ryhmiin.

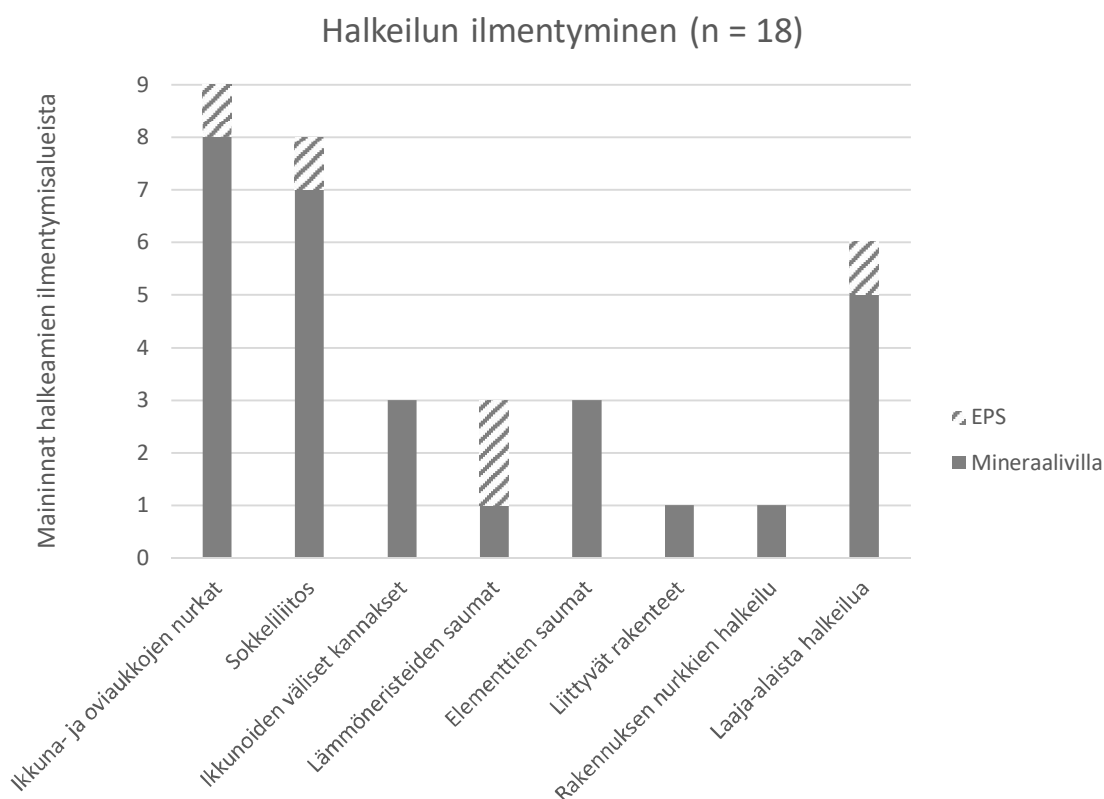
Taulukko 13: Ohutrappaus-eristejärjestelmällä toteutettujen kohteiden iän otoskeskiarvo \bar{x} ja otoshajonta s tutkimusajankohtana kohteissa, joissa on havaittu halkeilua ($n = 18$).

	Pinnoitteen irtoaminen ja pakkasrapautuminen	Pinnoitteen irtoaminen	Pakkasrapautuminen	Ei vaurioita
\bar{x} [a]	6,0	7,4	6,2	6,1
s [a]	2,8	2,5	2,5	4,5

Kohteissa, joissa havaittiin pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista, oli kaikissa tehty kuntotutkimus. Vastaavasti kohteissa, joissa havaittiin joko pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista, oli kahta kohdetta lukuun ottamatta tehty kuntotutkimus. Vastaavasti kohteissa, joissa ei havaittu pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista, oli kuntotutkimus tehty ainoastaan kahdessa kohteessa. Nämä molemmat kohteet olivat EPS-alustalle toteutettuja järjestelmiä.

Kuvassa 49 on esitetty aineistossa mainitut alueet, joissa halkeilua ilmeni. Tyypillisimmin halkeilua havaittiin ikkuna- ja oviaukkojen nurkissa (50 %). Lähes yhtä usein halkeilua havaittiin sokkeliliitoksen yläpuolella (44 %). Kuudessa (33 %) kohteessa esiintyi

myös rappauksen epäsäännöllistä ja laaja-alaista halkeilua. Näistä kohteista neljä olivat aineiston viiden vanhimman kohteen joukossa.



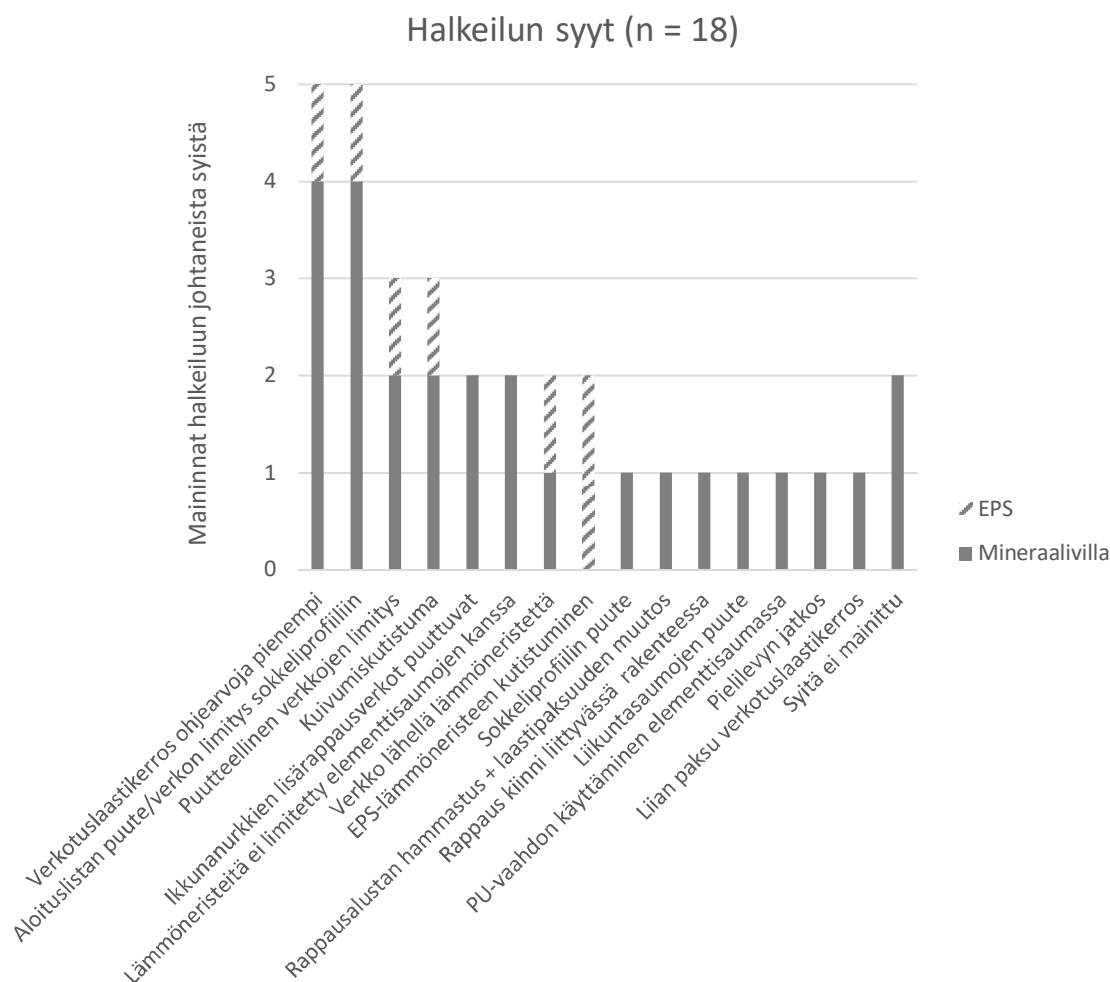
Kuva 49: Ohutrappaus-eristejärjestelmien alueet, joissa halkeilua ilmenee aineiston perusteella (n = 18). Mineraalivilla-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty yhtenäisellä harmaalla värillä. EPS-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty vinoviivoituksella.

EPS-alustan päälle toteutetuissa järjestelmissä halkeilun muodostuminen lämmöneristeiden saumaan erottuu muusta aineistosta. Halkeilua EPS-eristeiden saumassa havaittiin kahdessa kohteessa (67 %). Halkeilua ei kuitenkaan muodostunut näissä kohteissa muihin kohtiin rappausta, ja halkeamat pystyttiin havaitsemaan vasta tarkastelun tapahtuessa hyvin läheltä rappauksen pintaa. Toisessa kohteessa halkeamaleveydet olivat myös hyväksyttävissä rajoissa eli ne olivat maksimissaan noin 0,05-0,1 mm. Toisen kohteen halkeamaleveyksiä ei oltu mitattu.

Kohteissa, joissa oli tehty kuntotutkimus, halkeilua havaittiin keskimäärin 2-3 erilaisessa kohdassa julkisivua. Muussa aineistossa halkeilua havaittiin yhtä kohdetta lukuun ottamatta ainoastaan yhden tyyppisessä kohdassa rappausta. Poikkeavassa kohteessa halkeilua havaittiin kahdessa erilaisessa kohdassa rappausta.

Kuvassa 50 on esitetty aineistossa mainitut syyt halkeilun muodostumiselle. Tyypillisimmät maininnat halkeiluun johtaneista syistä olivat liian ohut verkotuslaastikerroksen paksuus (28 %) tai aloituslistan puute (28 %). Kohteissa, joissa aloituslistan puute todettiin

halkeaman muodostumisen syyksi, eristerappaus oli valmistunut yhtä kohdetta lukuun ottamatta ennen vuotta 2008, jolloin aloituslistoja ei ole vielä ollut käytössä. Laaja-alaisesti halkeilleista kohteista neljässä verkotuslaastin paksuuden kerrottiin olevan liian ohut materiaalitoimittajan ohjearvoihin verrattuna. Lisäksi kahdessa näistä kohteista verkon todettiin olevan kiinni lämmöneristeessä.



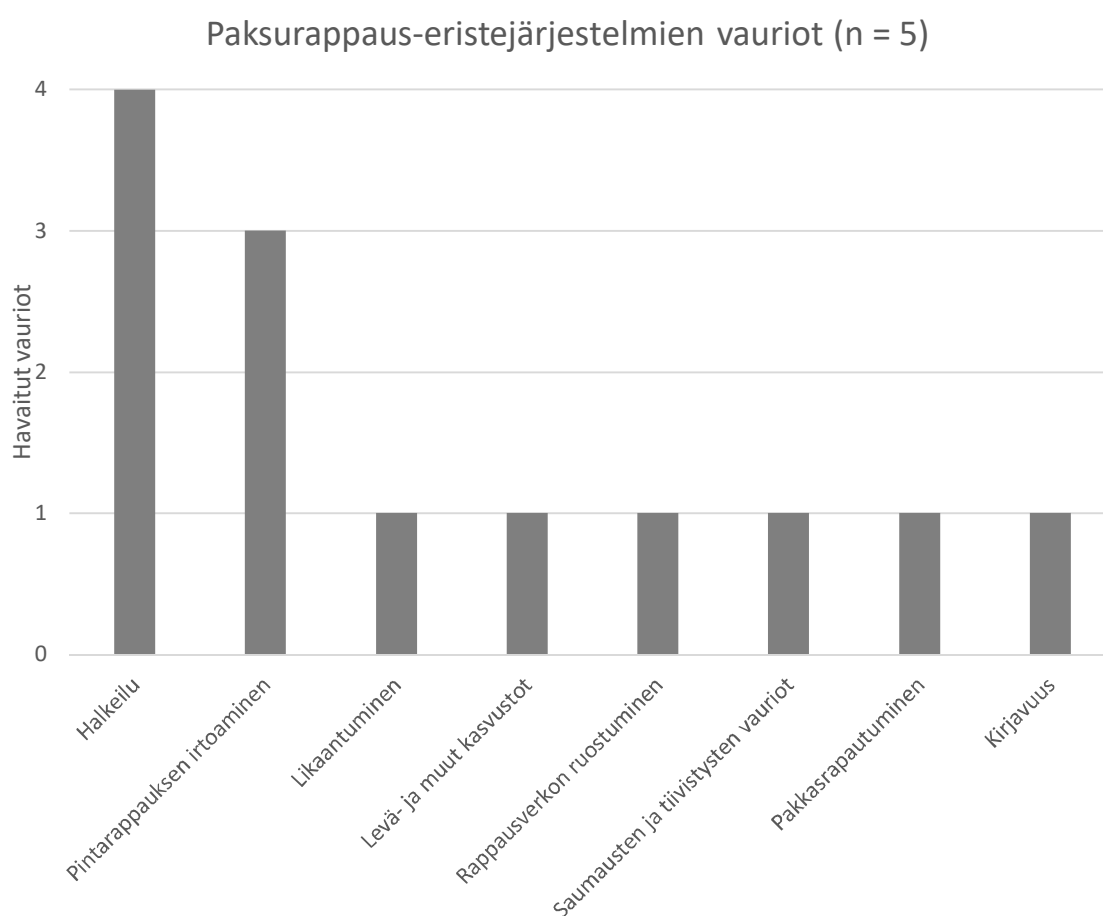
Kuva 50: Ohutrappaus-eristejärjestelmien halkeiluun johtaneet syyt aineiston perusteella (n = 18). Mineraalivilla-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty yhtenäisellä harmaalla värillä. EPS-alustaiset ohutrappaus-eristejärjestelmät on merkitty vinoviivoituksella.

Suurin osa halkeiluun johtaneista syistä johtui työvirheistä. Aineiston 31 halkeiluun johtaneesta syystä 20 (65 %) koski työvirheitä. Useammassa kuin yhdessä kohteessa halkeaman muodostumisen syyksi oli edellä mainitun verkotuslaastikerroksen ohjearvoa pienemmän paksuuden lisäksi mainittu puutteellinen verkkojen limititys (17 %), verkon sijainti lähellä lämmöneristeen pintaa (11 %), ikkuna-aukkojen nurkkien lisärappausverkon puuttuminen (11 %) ja lämmöneristeiden limityspuutteet elementtisaumojen kanssa paikalla rakennetuissa järjestelmissä (11 %). Lisäksi yksittäisissä kohteissa työvirheistä johtuneista halkeilun syistä oli mainittu sokkeliprofiilin puuttuminen, rappausalustan

hammastus, rappauksen liittyminen toiseen rakenteeseen ilman liikuntasaumaa, rungon liikuntasauaman puute, PU-vaahdon käyttäminen elementtisaumassa valmistajan ohjeiden vastaisesti ja liian paksu verkotuslaastikerroksen paksuus. Muista kuin työvirheistä johduneista halkeilun syistä voidaan mainita kuivumiskutistuma (17 %) ja EPS-lämmöneristeiden kutistuminen (11 %).

8.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot

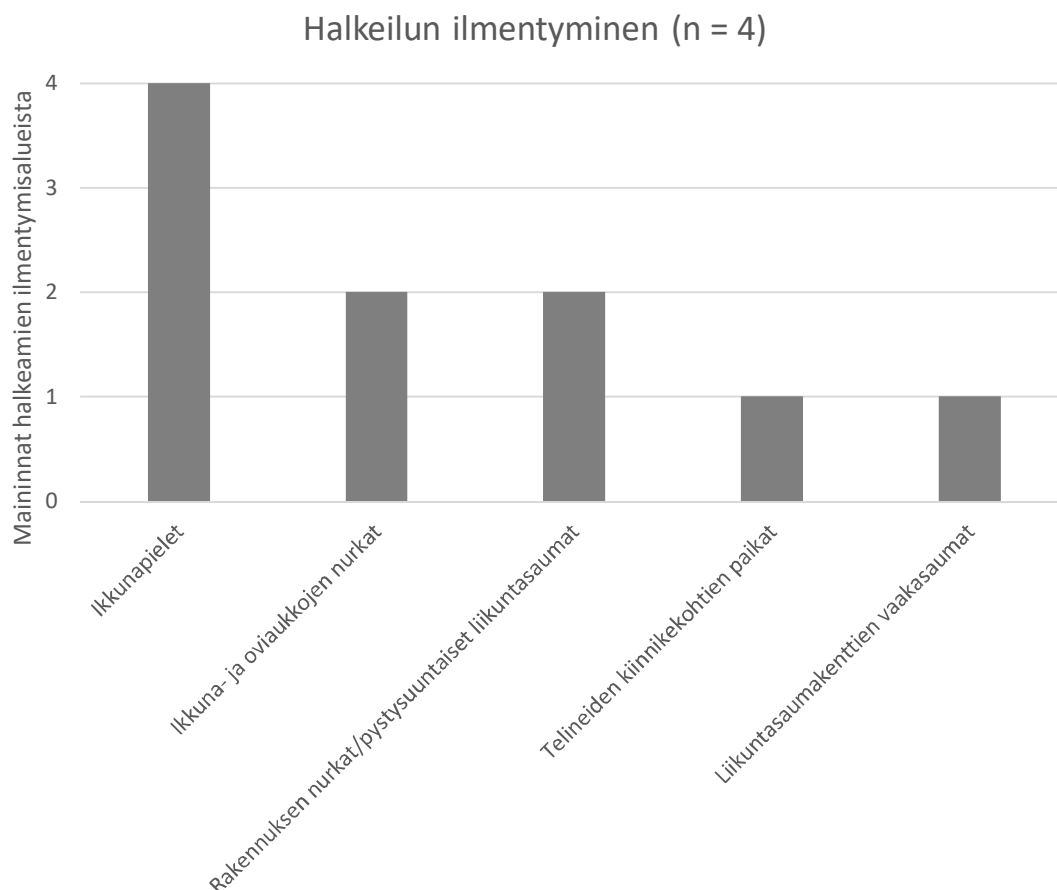
Aineiston perusteella paksurappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot olivat rappauksen halkeilu (80 %) sekä pintarappauksen irtoaminen (60 %). Muita vaurioita esiintyi ainoastaan yksittäisissä kohteissa. Kuvassa 51 on esitetty aineiston havaitut vauriot.



Kuva 51: Paksurappaus-eristejärjestelmien tyypillisimmät vauriot kuntotutkimusraporttien perusteella (n = 5).

Kohteissa pintarappauksen irtoamista havaittiin satunnaisesti useassa eri kohdassa julkisivua. Aineistossa vaurioitumisen syyksi arveltiin puutteita työnsuorituksessa ja materiaalien valinnoissa. Rappausverkon ruostumisen syyksi mainittiin kuumasinkityksen vaurioituminen verkon käsittelyssä toteutuksen aikana. Pakkasrapautumisesta oli maininta vain nuorimman kohteen aineistossa.

Kaikissa kohteissa, joissa havaittiin rappauksen halkeilua, halkeilua havaittiin ikkunapielissä. Lisäksi kahdessa kohteessa halkeilua havaittiin ikkuna-aukkojen nurkissa (50 %) ja rakennuksen nurkissa pystysuuntaisten liikuntasaumojen vieressä (50 %). Yksittäisissä kohteissa halkeilua havaittiin telineiden kiinnikekohtien paikoissa ja liikuntasaumakenttien vaakasaumoissa. Kuvassa 51 on esitetty aineistossa mainitut alueet, joissa halkeilua ilmenee.



Kuva 52: Paksurappaus-eristejärjestelmien alueet, joissa halkeilua ilmenee kuntotutkimusraporttien perusteella (n = 4).

Halkeilun syitä aineistossa oli mainittu suppeasti. Kahdessa kohteessa halkeilun syyksi mainittiin rappauksen painuminen, yhdessä rappausverkon sijainti lähellä lämmöneristeen pintaa ja yhdessä kuivumiskutistuma.

9. TULOSTEN TARKASTELU

9.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmien vaurioituminen

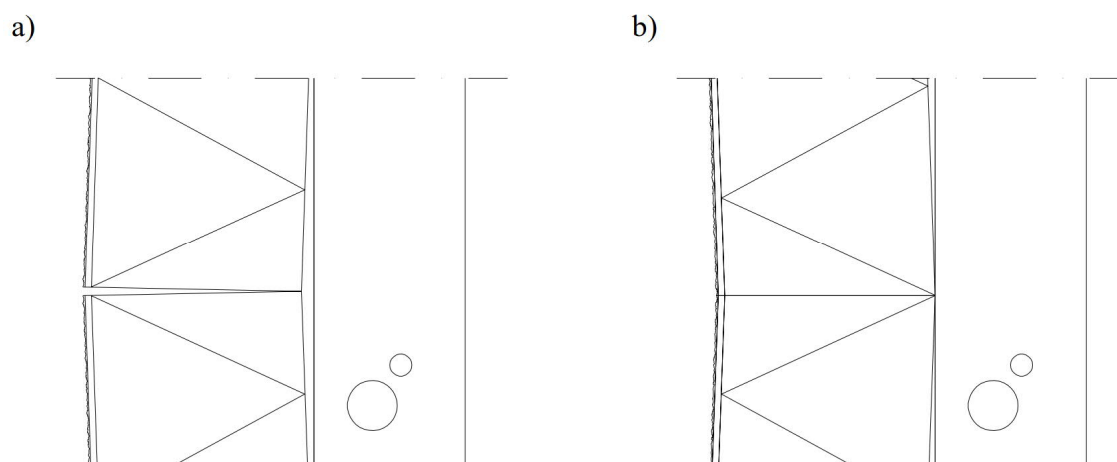
Tutkimusaineiston perusteella rappauksen halkeilu on ohutrappaus-eristejärjestelmien yleisin vaurio. Yhtä kohdetta lukuun ottamatta kaikissa tutkimusaineiston kohteissa oli havaittu rappauksen halkeilua. Halkeilua muodostuu tyypillisimmin ikkuna- ja oviaukkojen nurkkiin (50 %) ja sokkeliprofiilin yläpuolelle (44 %). Ikkuna- ja oviaukkojen nurkkiin syntyvä halkeilu johtuu jännityspiikeistä, joita syntyy aukon reunan erisuuntaisista lämpö- ja kosteusliikkeistä. Sokkeliprofiilin yläpuolella syntyvä halkeilu johtunee sokkeliprofiilin ja rappauksen erilaisista lämpöliikkeistä sekä rappausverkon puutteellisesta liittymisestä sokkeliprofiiliin. Rappausverkon puutteellisen liittymisen sokkeliprofiiliin ovat huomannut myös Kvande et al. (2018, s. 18) tutkimuksessaan, joka käsittelee eristerappausjärjestelmien vaurioitumisen syitä. Nykyisissä järjestelmissä sokkeliprofiiliin liitetään aloituslista, jonka avulla rappausverkko pystytään ankkuroimaan sokkeliprofiiliin. Tutkimusaineiston perusteella ei vielä voida sanoa, onko tämä vähentänyt sokkeliprofiilin yläpuolella tapahtunutta halkeilua.

Kohdekäyntien perusteella sokkeliliitoksen toteuttaminen vastoin järjestelmätoimittajien ohjeita aiheutti poikkeuksetta rappauksen vaurioitumista sokkeliliitoksen yläpuolella. Esimerkkinä voidaan pitää rappauksen kiinnittämistä sokkelin päälle asennettuun vesipeltiin ilman sokkeliprofiilia, kuten kuvassa 28. Kvande et al. (2018, s. 10) havaitsi tutkimuksessaan, että sokkeliprofiilin puuttuminen säärasituskokeissa aiheuttaa aina kosteusrasitustason kasvun sokkeliliitoksen yläpuolella ja edelleen laastin pakkasrapautumisen. Kohdekäyntien perusteella sokkeliprofiilin puuttuminen aiheuttaa myös huomattavaa rappauksen halkeilua.

Kuudessa (32 %) aineiston kohteessa oli havaittu laaja-alaista rappauksen halkeilua. Näissä kohteissa työvirheillä, kuten materiaalitoimittajan ohjearvoa pienemmällä verkotuslaastikerroksen paksuudella ja rappausverkon väärällä sijainnilla, oli suuri merkitys rappauksen halkeiluun. Koska ohutrappaus-eristejärjestelmissä verkotuslaastikerroksen paksuus on lähtökohtaisesti ohut, pienet heitot sekä verkotuslaastikerroksen paksuudessa että verkon sijainnissa vaikuttavasti merkittävästi rappauksen toimintaan. Kvande et al. (2018, s. 6) huomasivat tutkimuksessaan, että rappausverkon sijainti lähellä lämmöneristeitä ja ohut verkotuslaastikerroksen paksuus ovat yleisimpiä syitä järjestelmien vaurioitumiseen. Amaro et al. (2013, s. 1262) havaitsivat vastaavasti tutkimuksessaan, että julkisivun epäsäännöllinen halkeilu korreloi vahvasti tummien pinnoitteiden käytön, materiaalin vioittumisen, laastin kutistumisen, mekaanisten kiinnikkeiden liian tiukan kiinnittämisen ja materiaalivalmistajien ohjeiden noudattamattomuuden kanssa.

Työvirheet nousivat muissakin aineiston kohteissa keskeisimmiksi syiksi rappauksen halkeilulle. Aineiston perusteella halkeiluun johtaneista syistä 65 % voidaan lukea työvirheiksi. Työvirheiden suuri osuus halkeiluun johtaneista syistä kertoo ohutrappaus-eristejärjestelmien heikosta vikasietokyvystä, koska järjestelmien toimivuus on testattu, ja todettu toimivaksi.

Rappausalustalla ei ollut aineiston perusteella suurta merkitystä rappauksen halkeiluun, koska yhtä kohdetta lukuun ottamatta kaikissa aineiston kohteissa oli havaittu halkeilua. Ainoa huomattava ero rappausalustojen välillä on EPS-alustaisissa järjestelmissä tapahtuva halkeilu lämmöneristeiden saumoissa, jota havaittiin kahdessa (67 %) EPS-alustaisesta kohteesta. Tällöin havaitut halkeamat olivat kuitenkin todella kapeita. Halkeilu johtuu EPS:n suhteellisen suurista lämpöliikkeistä verrattuna verkotuslaasteihin tai levyjen kutistumisesta. Lähtökohtaisesti julkisivuissa käytetyt EPS-levyt ovat kuitenkin hyvin mittapysyviä, mutta levyjen kutistumista ei aineiston perusteella voida sulkea pois. EPS-lämmöneristeiden saumojen halkeiluun havaitsivat myös Kvande et al. (2018, s. 10). Heidän mukaan halkeilua muodostuu etenkin, jos lämmöneristeiden saumoissa on rakoja, eristeiden ulkopinnassa on hammastuksia tai rappausverkon jatkoskohdat osuvat lämmöneristeiden saumoihin. Tutkimusaineistossa mitään näistä ei kuitenkaan havaittu. Amaro et al. (2013, s. 1262) huomasivat myös, että julkisivuun muodostuvat suuntautuneet halkeamat korreloivat hyvin lämmöneristeiden välisten rakojen kanssa. De Freitas & de Freitas (2016, s.67-69) mukaan solumuovilämmöneristeiden saumojen kohdalla tapahtuva halkeilu johtuu solumuovilämmöneristeiden huomattavasti suuremmasta lämpölaajenemiskertoimesta verrattuna rappauslaastien lämpölaajenemiskertoimeen sekä suuremmasta jäykkyydestä. He havaitsivat Portugalissa tekemässään tutkimuksessaan, että kesäisin päivisin lämmöneristeen ulkopinnan lämpötila voi olla huomattavasti korkeampi kuin sisäpinnan, jolloin lämmöneriste pyrkii kaareutumaan ulospäin. Vastaavasti kesä öisin lämmöneristeen ulkopinnan lämpötila on matalampi kuin sisäpinnan, jolloin lämmöneriste pyrkii kaareutumaan sisäänpäin ja rappaukseen syntyy vetojännityksiä lämmöneristeiden saumoihin. Kuvassa 53 on havainnollistettu solumuovilämmöneristeiden lämpöliikkeitä ulko- ja sisäpinnan erilaisten lämpötilojen takia. Suomessa talvisin ulkoilman lämpötila on jatkuvasti matalalla, jonka takia lämmöneriste pyrkii kaareutumaan sisäänpäin ja rappaukseen syntyy vetojännityksiä lämmöneristeiden saumoihin.



Kuva 53: Solumuovilämmöneristeiden lämpöliikkeet lämmöneristeiden ulko- ja sisäpinnan erilaisista lämpötiloista johtuen. Kuvassa a) ulkopinnan lämpötila on matalampi kuin sisäpinnan, minkä takia lämmöneriste pyrkii kaareutumaan sisäänpäin ja rappaukseen syntyy vetovoimia, ja lämmöneristeiden saumaan voi syntyä halkeamia, kuten kuvassa. Kuvassa b) ulkopinnan lämpötila on korkeampi kuin sisäpinnan, minkä takia lämmöneriste pyrkii kaareutumaan sisäänpäin. (Kuva: muokattu de Freitas & de Freitas 2016, s. 67)

Halkeamat ovat eristerappausjärjestelmille aina haitallisia, koska ne kasvattavat rappauksen kosteusrasitusta yhdessä toimimattomien liitosten kanssa. Niiden kautta sadevesi pääsee tunkeutumaan rappausalustaan paine-eron, kapillaarisen imun tai pisaroiden kineettisen energian avulla sekä imeytymään verkotuslaastiin. Verkotuslaastin kohonnut kosteusrasitus mahdollistaa muiden vaurioiden syntymisen. Olssonin (2017, s. 391) mukaan halkeamien kautta rakenteen sisään voi tunkeutua jopa lähes 2 % julkisivun viistosademäärästä. Kosteuden tunkeutumista rappausalustaan tulisi tutkia lisää, jotta voidaan arvioida, kuinka paljon kosteutta voi tunkeutua rappaukseen erilaisten halkeamien kautta, ja miten rappausalustaan tunkeutunut ja verkotuslaastiin imeytynyt kosteus vaurioittaa eristerappausjärjestelmiä.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien kosteustekniseen toimintaan vaikuttaa myös rappausalusta. Ulkopuolinen kosteus tunkeutuu helpommin mineraalivilla-alustaisiin järjestelmiin kuin EPS-alustaisiin järjestelmiin, koska mineraalivillalla on suurempi permeabiliteetti eli kyky läpäistä vettä ja vesihöyryä. Samasta syystä rappausalustaan tunkeutunut kosteus pystyy valumaan painovoimaisesti helpommin mineraalivillassa kuin EPS:ssä, jossa kosteuden valuminen tapahtuu lämmöneristeiden saumoissa. Toisaalta suuren permeabiliteetin takia mineraalivilla läpäisee vesihöyryä paremmin kuin EPS. Tällöin sen kuivuminen on nopeampaa otollisissa olosuhteissa. Eristerappausjärjestelmien kuivuminen on kuitenkin hidasta ylipäänsä. Vastaavasti hyvän vesihöyrynläpäisevyyden takia kosteutta tiivistyy enemmän mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä, kun olosuhteet ovat otolliset kosteuden tiivistymiselle. Kosteutta tiivistyy molemmissa eristerappausjärjestelmätyypeissä rappauksen sisäpintaan, mutta mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä

sitä voi tiivistyä myös alusrakenteen ulkopintaan. Tällöin koko eristetilan suhteellinen kosteus on todella korkea.

Eristetilan suhteellista kosteutta nostaa myös sinne halkeamista ja toimimattomista liitoksista tunkeutunut vesi. Kun otetaan huomioon julkisivuun kohdistuva viistosademäärä ja Olssonin tutkimuksessaan tekemä havainto julkisivun sisään tunkeutuvasta viistosateesta, voi Etelä-Suomessa rannikolla eteläjulkisivuihin teoriassa tunkeutua kosteutta jopa yli 5 mm/m^2 eli $5\,000 \text{ g/m}^2$ vuodessa. Vinha et al. (2013, s. 159-165) mukaan rappauksen sisäpintaan voi tiivistyä kosteutta $100\text{-}300 \text{ g/m}^2$ vuodessa, kun julkisivun U-arvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Halkeamien ja toimimattomien liitosten kautta rakenteeseen tunkeutuvat kosteusmäärä voi olla siis huomattavasti suurempi.

Järjestelmien kosteustekniseen toimintaan vaikuttaa myös pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyys. Silikonihartsipinnoitteet läpäisevät hyvin vesihöyryä toisin kuin keinohartsipinnoitteet, joiden vesihöyrynvastukset ovat monikymmenkertaisia verrattuna silikonihartsipinnoitteisiin. Tällöin käytettäessä keinohartsipinnoitteita rappauksen taakse tiivistyy enemmän kosteutta, koska pinnoitteen vesihöyrynvastus on suurempi. Tutkimusaineiston perusteella ei voida sanoa vaikuttaako pinnoitetyyppi järjestelmien vaurioitumiseen, koska läheskään kaikissa aineiston kohteissa ei ollut mainintaa pinnoitetyypistä tai järjestelmästä.

Tutkimusaineiston perusteella ohutrappaus-eristejärjestelmien seuraavaksi yleisimpiä vaurioita halkeilun jälkeen ovat pinnoitteen irtoaminen (47 %), saumausten ja tiivistysten vauriot (32 %) ja pakkasrapautuminen (26 %). Neljässä kohteessa (21 %) esiintyi sekä pinnoitteen irtoamista että pakkasrapautumista. Pinnoitteen irtoamista ja pakkasrapautumista havaittiin aineiston kohteissa suhteellisen pian rappauksen valmistumisen jälkeen, kuten taulukosta 13 voidaan havaita. Aineiston kohteet ovat valmistuneet vuosina 2002-2012, joten valmistumisajankohdan puolesta niille on voitu tehdä tiukemmat säärasituskokeet. Täyttä varmuutta tälle ei kuitenkaan voida sanoa. Koska pinnoitteen irtoamista ja pakkasrapautumista esiintyy nopeasti rappauksen valmistumisen jälkeen, ja järjestelmät on testattu toimiviksi, järjestelmien vikasietokyvyssä on tämänkin suhteen puutteita. Kohteiden iät eivät selitä pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista, koska kohteiden, joissa havaittiin sekä pinnoitteen irtoamista ja pakkasrapautumista, tarkasteluajankohdan otoskeskiarvo on pienin verrattuna muihin ryhmiin.

Kohdekäyntien perusteella havaittiin rappausten sisäpinnan puolelta alkavaa rapautumista. Kolmessa kahden eri kohdekäynnin yhteydessä otetussa näytteessä rapkaus oli rapautunut tai muulla tavoin vaurioitunut sisäpinnan puolelta, vaikka rapkaus näytti ulospäin täysin ehjältä eikä vasarointi tai raaputtaminen antaneet merkkejä laastin pakkasrapautumisesta. Toisessa kohteessa näytteenoton yhteydessä sisäpinnan verkotuslaasti oli niin märkä, että se hajosi kosketuksesta. Toisessa kohteessa rapkaus oli vastaavasti pitkälle rapautunut sisäpinnan puolelta. Molemmissa kohteissa näytteet otettiin halkeamien

päältä. Kohteessa, jossa laasti hajosi kosketuksesta, sama havaittiin myös sokkeliliitoksen yläpuolelta otetusta näytteestä.

Tutkimusaineiston perusteella pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista havaittiin useammin mineraalivilla-alustaisissa kohteissa (56 %) kuin EPS-alustaisissa kohteissa (33 %). EPS-alustaisissa kohteissa ei havaittu lainkaan pakkasrapautumista, vaikka ne edustivat aineiston vanhimpia kohteita. Tutkimusaineiston koko on kuitenkin pieni etenkin EPS-alustaisten kohteiden osalta, joten tuloksesta ei voida tehdä jyrkkiä johtopäätöksiä. Kvande et al. (2018, s. 12) havaitsivat kuitenkin tutkimuksessaan, että EPS-alustaisten järjestelmien kestävyysominaisuudet ovat paremmat kuin mineraalivilla-alustaisten järjestelmien.

Mineraalivilla-alustaisissa kohteissa, joissa pinnoitetta oli irronnut, havaittiin sitä kahta kohdetta (75 %) lukuun ottamatta sokkeliliitoksen yläpuolella. Tämä johtunee rappausalustasta valuvista vesistä, jotka eivät pääse poistumaan sokkeliprofiilin päältä aiheuttaen rappaukseen paikallisesti korkeamman kosteusrasituksen. Nykyisissä järjestelmissä sokkeliprofiilit ovat rei'itettyjä, jolloin kosteus pääsee poistumaan niiden päältä. Tutkimusaineistossa ei ollut mainintoja, oliko järjestelmissä käytetty rei'itettyjä sokkeliprofiileja. Kvande et al. (2018, s. 10) mukaan sokkeliprofiilein reiät ovat aina tarpeen rappausalustan kosteuden kuivumisen kannalta mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä. Sokkeliprofiilien rei'itys ei kuitenkaan poista ongelmaa rappausalustassa valuvista vesistä, jotka lisäävät verkotuslaastin kosteuspitoisuutta muualla rappauksessa. Tutkimusaineiston kohteissa, joissa oli havaittu pinnoitteen irtoamista sokkeliprofiilin yläpuolella, pinnoitteen irtoamista havaittiin kahta kohdetta lukuun ottamatta myös muilla julkisivualueilla (67 %) – yleisimmin halkeamien läheisyydessä.

Aineiston perusteella ei voida sanoa, mistä aineiston mineraalivilla-alustaisten järjestelmien yleisempi ja nopeampi pinnoitteen irtoaminen tai pakkasrapautuminen johtuu. Koska molempiin vauriomekanismeihin liittyy kuitenkin vahvasti verkotuslaastin kosteuspitoisuus, voi ero johtua alustojen erilaisesta kosteusteknisestä toiminnasta. Halkeamien ja toimimattomien liitosten kautta rappausalustaan tunkeutunut kosteus voi nostaa verkotuslaastin kosteuspitoisuuden korkealle syksyn runsaiden viistosateiden aikana, jolloin kuivumiselle on myös epäedulliset olosuhteet. Lisäksi verkotuslaastin kerrospaksuudet ovat pieniä, joten imeytyneen kosteuden määrän ei tarvitse olla järin suuri, jotta saavutetaan laastin kapillaarinen vedellä kyllästymisaste. Esimerkiksi Etelä-Suomessa vapaat viistosademäärät ovat niin suuria, että ennen $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -jäätymis-sulamissykliä satanut viistosade pystyy teoriassa täyttämään verkotuslaastin kapillaariseen kyllästymiskosteuspitoisuuteensa imeytyessään siihen etenkin eteläsuuntaisilla julkisivuilla. Tällöin verkotuslaasti rapautuu, jos sen pakkasenkestävyydessä on puutteita. Aineiston kohteissa, joissa havaittiin pakkasrapautumista, laastien pakkasenkestävyysominaisuuksissa ei kuitenkaan ollut suuria puutteita. Kvande et al. (2018, s. 12) mukaan eristerappausjärjestelmien erilaiset kestävyysominaisuudet johtuvat alustojen erilaisesta kosteuskäyttäytymisestä. Laastien sitoutumisen aikana kosteutta poistuu enemmän mineraalivillaan kuin

EPS:iin, jolloin laastista tulee huokoisempaa. Vastaavasti mineraalivillaan absorboituu enemmän kosteutta kuin EPS:iin, jolloin rakenne voi olla kosteampi, ja pakkasrapautumisen riski kasvaa.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytettävien verkotuslaastien pakkasenkestävyys testataan Suomessa erikseen säärasituskokeiden yhteydessä. Testaus on raju, koska testattavat laastiprismat ovat vesiupotuksessa ennen jäädytysyyskliä, jolloin niiden voidaan olettaa olevan kapillaarisesti vedellä kyllästyneitä. Lisäksi testaus ylittää $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:een, jolloin kapillaarihuokosissa olevan veden voidaan olettaa olevan jäätyneitä. Koska aineiston koh-teissa ei havaittu suuria puutteita verkotuslaastin pakkasenkestävyydessä ja laastien pakkasenkestävyys on testattu, tulisi niiden kestää jäätymis-sulamissyklejä paremmin rapautumatta. Teoriassa verkotuslaastin sisäpintaan tiivistyvä kosteus voisi nostaa laastin kosteuspitoisuutta yli kyllästymiskosteuden laastin jäätyessä, koska pienimmät kapillaarihuokokset jäätyvät vasta lämpötilan laskiessa reilusti pakkasen puolelle. Lisäksi tiivistyvä kosteus ei sisällä suoloja, kun taas sementtipohjaiset laastit sisältävät aina alkalisuoloja. Tällöin suolapitoisuuserojen takia vesi pyrkii imeytymään verkotuslaastiin. Tiivistyvän ja verkotuslaastiin imeytyvän kosteuden määrän ei myöskään tarvitse olla kovinkaan suuri, koska verkotuslaastikerrokset ovat ohuita. Tällöin pienikin kosteuslisä voi nostaa laastin kosteuspitoisuutta huomattavasti. Verkotuslaastiin tiivistyvän kosteuden vaikutusta laastin pakkasrapautumiseen ja pakkasenkestävyyteen tulisi tutkia. Lisäksi useassa eri tutkimuksessa, kuten Johansson et al. (2010), Barreira & de Freitas (2013) ja Holm et al. (2004), on havaittu ulkoilman kosteuden tiivistymistä rappauksen ulkopintaan. Tämä kosteus voi myös imeytyessään rappaukseen nostaa rappauksen kosteuspitoisuutta talvisin.

Mineraalivillan suhteellinen kosteus voi nousta koko lämmöneristekerroksessa korkeaksi. Holm & Künzel (1999, s. 5-6) ja Zirkelbach et al. (2005) havaitsivat, että suhteellinen kosteus saattaa nousta lähellä 100 % lämmöneristeen sisäpinnassa kesäisin. Vastaavasti lämmöneristeiden ulkopinnan suhteellinen kosteus pysyi tutkimuksissa korkeana läpi vuoden. Korkea suhteellinen kosteuspitoisuus koko lämmöneristekerroksessa nostaa lämmöneristekerroksen sisällä olevien homehtumiselle herkkien materiaalien, kuten puisten ikkunan apukarmien, kosteus- ja mikrobivaurion riskiä. Talvisin lämpötila rakenteen ulkopinnassa on homeen kasvulle epäedullinen. Kesäisin kasvujen muodostuminen on kuitenkin mahdollista rakenteen ulkopinnassa oleviin homehtumislualtaan herkempiin materiaaleihin. Vastaavasti rakenteen sisäpinnassa lämpötila on optimaalinen ympäri vuoden, mutta suhteellinen kosteus on korkea ainoastaan kesäisin. Rappausalustaan tunkeutuneet sadevedet voivat kuitenkin nostaa lämmöneristekerroksen suhteellista kosteuspitoisuutta muina vuodenaikoina, joka voi aiheuttaa lämmöneristeen sisäpinnassa olevien homehtumislualtaan herkempien materiaalien kosteus- ja mikrobivaurioriskiä. Kvande et al. (2018, s. 12-13) huomasivat kuitenkin tutkimuksessaan kosteus- ja mikrobivaurioita ainoastaan huonosta suunnittelusta ja rakentamisen aikaisesta kosteusrasituksesta johtuen

Norjassa. Ruotsissa kosteus- ja mikrobivauriot ovat olleet huomattava ongelma puurankaisissa pientaloissa (Boverket 2009).

Lämpö- ja kosteusrasitus aiheuttaa myös lämmöneristeiden vanhenemista. Tutkimusaineiston yhdessäkin kohteessa ei ollut mainintaa lämmöneristeiden vanhenemista, joka voi aiheuttaa esimerkiksi lämmöneristeiden vetolujuuden heikkenemistä. Asiaa ei oltu kuitenkaan tutkittu yhdessäkin kohteessa. Järjestelmille tehtävien säärasituskokeiden perusteella lämmöneristeiden vetolujuus on yleisimmin ollut mitoittava suure (Lahdensivu et al. 2016, s. 32). Zirkelbach et al. (2005, s. 8) eivät havainneet kenttätutkimukseen merkittävää lämpö- ja kosteusrasituksen aiheuttamaa mineraalivillalämmöneristeiden ulosvetolujuuden heikkenemistä. Heikkeneminen oli nopeampaa levymäisille mineraalivillalämmöneristeille kuin lamellivillaeristeille.

Tutkimusaineiston kolmessa kohteessa (16 %) oli mainintaa julkisivujen leväkasvustoista. EPS-alustaisissa järjestelmissä (67 %) levä- ja muiden kasvustojen osuus oli suurempi kuin mineraalivilla-alustaisissa (6 %). Tätä voi selittää EPS-alustaisten järjestelmien korkeampi ikä tarkasteluajankohtana. Mineraalivillainen järjestelmä, jossa havaittiin leväkasvustoja, oli tutkimusajankohtana 6 vuotta vanha, joten se vastasi iältään aineiston otoskeskiarvoa. Ilmastonmuutoksen myötä vuoden keskilämpötilat tulevat nousemaan Suomessa. Muutos tulee olemaan merkittävintä talvisin. (Jylhä et al. 2009, s. 11) Lisäksi julkisivujen kosteusrasitus tulee lisääntymään, koska viistosademäärät kasvavat (Pakkala et al. 2016, s. 47). Tulevaisuudessa Suomen ilmasto muistuttanee enemmän Keski-Euroopan nykyilmastoa. Tämä tulee lisäämään julkisivujen leväkasvustoa. Esimerkiksi Portugalissa arviolta noin neljässä viidestä julkisivussa on leväkasvustoja (Ximenes et al. 2015, s. 2240). Viistosaderasituksen lisäksi tähän vaikuttaa julkisivupinnan absorboima auringon säteily sekä rappauksen ulkopintaan kondensoituvat ulkoilman kosteus (Barreira & de Freitas 2013, s. 38).

Tutkimusaineisto on laadultaan hyvin erilaista. Osa aineistosta on kuntotutkimusraportteja, osa kuntoarvioita ja osa vauriokatselmuksia. Havainnot kosteuden aiheuttamista vaurioista tehtiin pääsääntöisesti kohteissa, joissa julkisivuille oli tehty kuntotutkimus. Tällöin rakenteen tutkiminen on tarkinta ja systemaattisinta. Ainoastaan kahdessa kohteessa, jossa oli tehty kuntotutkimus, ei oltu havaittu pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista. Tutkimusaineiston perusteella ei voida poissulkea mahdollisuutta, että muissa aineiston kohteissa olisi voinut esiintyä pinnoitteen irtoamista tai pakkasrapautumista. Havainto kuitenkin osoittaa, että järjestelmissä, joissa havaitaan halkeilua, kuntotutkimus on tarpeen tehdä, ja halkeamien nopea korjaaminen on tärkeää, jotta vältytään kosteuden aiheuttamilta vaurioilta. Lisäksi kuntotutkimuksissa halkeilua havaittiin keskimäärin 2-3 erilaisessa kohdassa, kun taas muissa kohteissa halkeilua havaittiin yhdessä kohdassa. Mikäli julkisivuissa havaitaan halkeilua yhdessä kohdassa, on tarpeen tutkia myös julkisivun muut alueet.

Työvirheistä johtuva rappauksen halkeilu ja kosteuden aiheuttamien vaurioiden nopea ilmentyminen kertovat ohutrappaus-eristejärjestelmien alhaisesta vikasietokyvystä. Ohutrappaus-eristejärjestelmiä voidaankin pitää vaativina erikoisjärjestelminä. Tällöin toimivan ohutrappaus-eristejärjestelmän aikaansaamiseksi tulee kiinnittää aiempaa enemmän huomioita työntoteutukseen ja rakenteen suunnitteluun. Työvirheitä voidaan pyrkiä vähentämään lisäämällä rappaustyön valvontaa, valmisteluja, mallitöitä ja työntekijöiden koulutusta sekä pitämällä rappaustyön aloituspalaveri. Työmaalla työskentelevien ja suunnittelijoiden tulisi ymmärtää ehjän ja toimivan rappauksen suuri merkitys julkisivun kosteustekniseen toimivuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen. Kosteusteknistä toimivuutta voidaan myös oleellisesti alentaa liitosten oikeanlaisella suunnittelulla. Kvande et al. (2018) havaitsivat tutkimuksessaan, että pienet virheet suunnittelussa tai työntoteutuksessa voivat johtaa rappauksen vaurioitumiseen. Tutkimuksen mukaan myös rappausolosuhteisiin on syytä kiinnittää huomioita.

Havainto rakenteiden vikasietokyvyn puutteesta kertoo, että tällä hetkellä rakenteiden testaus ei vastaa rakenteiden todellisuudessa kokemaa räsitusta. Sääräsituskokeissa tutkittavat koeseinät tehdään laboratorio-olosuhteissa järjestelmätoimittajan toimesta, joten ne voidaan olettaa virheettömästi toteutetuiksi. Lisäksi koeseinän koko on suhteellisen pieni, testattavia liitoksia on vähän ja ikkuna-aukkojen koko on pieni. Tällöin riski liitosten vuotamiseen ja halkeamien muodostumiseen vähenee. Testauksen toimivuutta voitaisiin parantaa testaamalla lisäämällä sääräsituskokeiden testiseiniin liitoksia tai suurentamalla ikkuna-aukkojen kokoa.

Sääräsituskokeiden ja ETAG 004 -ohjeen mukaisen testauksen heikkouksiksi voidaan lukea myös testauslämpötilan yltäminen ainoastaan -20 °C :n lämpötilaan. Lämpötila on riittävä pakkasrapautumisen tutkimiseen, mutta se ei riittävästi ota huomioon lämpötilan vaihtelun aiheuttamia räsituksia rappaukseen. Kaikkialla Suomessa lämpötilat laskevat keskimäärin joka talvi alle -20 °C :n. Etelä-Suomessa lämpötila laskee alle -25 °C :n vielä keskimäärin joka talvi ja Sisä-Suomessa alle -35 °C :n keskimäärin joka toinen talvi. Todellisuudessa lämpötilan vaihtelut aiheuttavat siis rappauksille suurempia räsituksia. Lisäksi orgaanisissa ja polymeerimodifioiduissa laasteissa käytettyjen polymeerien lasittumislämpötilat voivat olla -20 °C :n tuntumassa. Tällöin ne muuttuvat hauraiksi vasta testauslämpötilojen alapuolella. ETAG 004 (2013, s. 60-63) -ohjeen mukaisessa testauksessa testataan laastien halkeilukäyttäytymistä, mutta testaus tehdään normaalihuoneenlämpötilassa, jolloin ollaan orgaanisten laastien lasittumislämpötilan yläpuolella. Laastien lasittumislämpötilan vaikutusta halkeamien muodostumiseen olisi syytä tutkia, jotta voitaisiin sanoa, vaikuttaako se järjestelmien halkeiluun.

Aineiston perusteella ei voida ottaa kantaa siihen, millä ilmansuunnilla vaurioitumista esiintyy eniten. Ei voida myöskään sanoa, vaurioituvatko julkisivun yläosat nopeammin kuin alaosat suuremman viistosaderäsituksen seurauksena, koska aineistossa hyvin harvassa kohteessa oli mukana vauriokartta. Vauriokuvausten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että kosteuden aiheuttamia vaurioita esiintyi niin julkisivun ylä- kuin alaosissa.

Ximenes et al. (2015, s. 2240) tekemien kenttätutkimusten mukaan julkisivun alaosat ovat kuiteinkin vähiten vaurioituneita. Tutkimuksessa havaittiin myös, että vaurioita on vähemmän rakennuksissa, joiden kosteusrasitus on vähäisempi.

9.2 Paksurappaus-eristejärjestelmien vaurioituminen

Tutkimusaineisten perusteella rappauksen halkeilu on paksurappaus-eristejärjestelmien yleisin vaurio. Tutkimusaineiston viidestä kohteesta neljässä (80 %) havaittiin rappauksen halkeilua. Kaikissa kohteissa, joissa halkeilua havaittiin, sitä oli nähtävissä ikkunapielien reunoilla. Ikkunapielien reunoissa tapahtuvaa halkeilua selittää rappauksen painuminen. Kun rappaus painuu ja rappaus on kiinni ikkunakarmissa, ikkunapieleen syntyy pakkovoimia, jotka aiheuttavat rappauksen halkeilua.

Ikkunapielten lisäksi halkeilua havaittiin ikkuna- ja oviaukkojen nurkissa (50 %), kuten ohutrappaus-eristejärjestelmissä, rakennuksen nurkissa tai pystysuuntaisten liikuntasauvojen vieressä (50 %) sekä vaakasuuntaisten liikuntasauvojen läheisyydessä (25 %). Ikkuna- ja oviaukkojen nurkkiin syntyvä halkeilu johtuu jännityspiikeistä, joita syntyy aukon reunan erisuuntaisista lämpö- ja kosteusliikkeistä. Pystysuuntaisten liikuntasauvojen lähellä tapahtuvaan halkeiluun huomasivat myös Piironen et al. (2003, s. 48). Aineiston perusteella syytä pystysuuntaisten liikuntasauvojen halkeiluun ei voida sanoa. Se voi johtua rappauksen kaareutumisesta lämpö- ja kosteusliikkeiden seurauksena tai rappauksen painumisesta. Kvande et al. (2018, s. 12) mukaan paksurappaus-eristejärjestelmien halkeilu johtuu laastin puutteellisesta sekoituksesta ja olosuhteista työnaikana sekä laastin kutistumisesta tai lämpöliikkeistä.

Tutkimusaineiston perusteella rappauksen halkeilun kanssa lähes yhtä yleinen vaurio on pintarappauksen irtoaminen, jota havaittiin kolmessa kohteessa (60 %). Pintarappauksen irtoamista oli havaittavissa satunnaisesti useissa eri kohdissa julkisivua. Tällöin säärasitus ei selitä pintarappauksen irtoamista, koska muutoin sitä tulisi esiintyä systemaattisesti rasisetuimpien julkisivujen yläosissa, missä viistosaderasitus on rankinta. Aineiston kohteissa vaurioitumisen syyksi arvellaankin puutteita työnsuorituksessa ja materiaalien valinnoissa. Piironen et al. (2003, s. 46-47) havaitsivat myös tutkimuksessaan, että pintarappauksen irtoaminen ja hilseily ovat yksi yleisimmistä vauriotyypeistä paksurappaus-eristejärjestelmissä. Vaurioitumisen syyksi hekin arvioivat puutteita materiaalin valinnassa ja työsuorituksessa. Kohdekäyntien perusteella pintarappauksen irtoaminen oli myös huomattava paksurappaus-eristejärjestelmien vauriotyyppi.

Pakkasrapautumista havaittiin ainoastaan yhdessä (20 %) kohteessa. Piironen et al. (2003) eivät myöskään havainneet tutkimuksessaan järjestelmien pakkasrapautumista. Kohteessa, jossa rappaus oli rapautunut, pintakäsittelynä oli silikaattimaali, joka on hydrofiilinen, mutta ei yhtä hyvin vettä imevä kuin huokoinen jalolaasti. Tällöin siihen muodostuu sateella vesikalvo nopeammin kuin jalolaastipintaiseen rappaukseen. Tällöin ve-

sikalvon vesi voi imeytyä rappaukseen halkeamien ja toimimattomien liitosten kautta aiheuttaen paikallisen korkeamman kosteusrasituksen. Kohteissa, joissa ei oltu havaittu pakkasrapautumista, julkisivun pinta oli jalolaastia. Jalolaasti imee itseensä kosteutta hyvin, mutta se myös kuivuu nopeasti. Talvisin kuitenkin kuivumiselle otolliset olosuhteet ovat vähäiset, ja rappausalusta ei ime kapillaarisesti kosteutta. Tutkimusaineiston pienen otannan takia paksurappaus-eristejärjestelmien pakkasrapautumisesta ei voida tehdä huomattavia johtopäätöksiä.

Kohdekäyntien perusteella paksurappaus-eristejärjestelmien ulkopinnassa esiintyy runsaasti leväkasvustoja. Kasvustoja esiintyy etenkin avonaisten pystysuuntaisten liikunta-saumojen vieressä.

9.3 Tulosten luotettavuus

Tutkimusaineiston koko on melko pieni. Tämä aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta, ja tuloksista ei voida vetää suuria johtopäätöksiä vaurioiden yleisyydestä ja syistä tai järjestelmien käyttöiästä. Lisäksi tutkimusaineisto on kerätty ainoastaan vaurioituneista kohteista, joten se ei kuvaa koko rakennuskantaa. Tutkimusaineistossa ei ole mukana yhtään kohdetta, jossa lähtökohtana olisi ollut vaurioton rakennus. EPS-alustaisten kohteiden pieni määrä lisää myös epävarmuutta sekä tulosten tarkastelussa että järjestelmien tyypillisessä vaurioitumisessa.

Tutkimusaineisto on myös laadultaan hyvin erilaista. Osa aineistosta on kuntotutkimusraportteja, joissa tarkastelu on tarkempaa ja systemaattisempaa. Osa aineistosta on vastaavasti vauriokartoituksia, jotka keskittyvät vain yhden havaitun vaurion silmämääräiseen tarkasteluun. Tällöin kohteissa voi olla vaurioita, joita aineistossa ei kuitenkaan ole mainittu, tai vaurioitumisen johtaneiden syiden analysoinnissa voi olla puutteita.

10. SUOSITUKSET ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN KUNTOTUTKIMUSTEN SUORITTAMISEEN

Kuntotutkimuksella tarkoitetaan rakenteelle tehtävää tutkimusta, jonka tarkoitus on selvittää rakenteen kunto, toimivuus ja mahdolliset korjaustarpeet sekä silmämääräisillä että rakennetta rikkomattomilla ja rikkovilla tutkimusmenetelmillä. Rakenteen kuntoa ja toimivuutta analysoidaan rakenteen vaurioiden ja vaurioitumisen laajuuden, sijainnin, asteen, seuraamuksien, syiden sekä oletetun tulevaisuuden kehittymisen perusteella (Lahdensivu et al. 2013, s. 8). Kuntotutkimuksen havaintojen ja niiden analysoinnin pohjalta annetaan jatkotoimenpide-ehdotus rakenteen korjauksesta tai kunnossapidosta. Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusmenetelmissä korostuvat silmämääräiset ja aistinvaraiset havainnot sekä taustatiedon hankkiminen verrattuna esimerkiksi betonijulkisivujen kuntotutkimuksiin, koska järjestelmille ei ole vielä kehittynyt omia kuntotutkimusmenetelmiä.

Kuntotutkimuksissa käytettäviä tutkimusmenetelmiä ovat suunnitelma-asiakirjoihin tutustuminen ja taustatiedon hankkiminen, silmämääräinen tarkastelu, kenttätutkimukset ja -mittaukset sekä näytteiden otto ja laboratoriotutkimukset (Huovinen et al. 1998, s. 8; Lahdensivu et al. 2013, s. 8). Kuntotutkimuksessa tulee ottaa huomioon koko rakenne alusrakenteesta pintakäsittelyyn. Lisäksi rakenteen kosteustekninen toimivuus, aiemmin tehdyt korjaukset ja käytettyjen materiaalien yhteensopivuus keskenään tulee selvittää. Taulukossa 14 on esitetty eristerapattujen rakenteiden kuntotutkimuksessa selvitettävät asiat.

Taulukko 14: Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimuksissa selvittävät asiat

Pääkohdat	Selvitettävät asiat
Alusrakenne	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalit - Rakenteellinen toiminta - Liikuntasaumat - Elementtien saumat - Toimivuus - Vauriot
Rappausalusta	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali - Kerrospaksuus - Kiinnittyminen alusrakenteeseen - Toimivuus - Kunto - Lämmöneristävyys - Kiinnikkeiden kunto - Kiinnikkeiden asennuskulma (paksurappaus-eristejärjestelmät) - Vauriot
Rappaus	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalit - Vaurioitumiseen vaikuttavat ominaisuudet <ul style="list-style-type: none"> o Lujuus o Pakkaskestävyys - Rappauskerrosten määrät ja paksuudet - Verkon sijainti ja lisärappausverkkojen käyttö - Tartunta rappausalustaan (ohutrappaus-eristejärjestelmät) - Rappauskerrosten välinen tartunta - Toimivuus - Vauriot
Pinnoite	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali - Vaurioitumiseen vaikuttavat ominaisuudet - Kerrospaksuus - Pohjusteaineen olemassaolo - Tartunta rappaukseen - Toimivuus - Vauriot - Väri
Käytettyjen materiaalien yhteensopi- vuus keskenään	<ul style="list-style-type: none"> - Käytetyt materiaalit järjestelmän mukaisia
Kosteustekninen toimivuus	<ul style="list-style-type: none"> - Rasiustaso - Liitosten ja pellitysten olemassaolo ja toi- minta - Rappauksen halkeilu - Vedenpoistojärjestelmien toimivuus - Pinnoituksen kunto
Aiemmat korjaukset	<ul style="list-style-type: none"> - Korjaustapa - Korjausten laajuus - Korjaustavan onnistuminen

Kuntotutkimuksessa selvittävät asiat määräytyvät kuitenkin aina kuntotutkimuksen tavoitteiden ja kohderakennuksen perusteella. Kuntotutkimuksen tavoite voi olla esimerkiksi korjausmenetelmävaihtoehtojen selvittäminen, korjauskohdan selvittäminen tai kunnossapitotarpeen selvittäminen. Kuntotutkimuksessa selvittävien asioiden tulee olla oleellisia kuntotutkimuksen tavoitteiden kannalta, ne tulee selvittää luotettavasti ja riittävän laajasti sekä riittävän tarkoin ja oikeanlaisilla menetelmillä. (Lahdensivu et al. 2013, s. 66-67)

10.1 Suunnitelma-asiakirjat ja muut taustatiedot

Suunnitelma-asiakirjoista voidaan saada tietoa julkisivun rakennetyypistä, liitoksista ja käytetyistä materiaaleista. Suunnitelma-asiakirjoista oleellisia ovat rakennetyypit, työselostukset sekä liitosdetaljit. Suunnitelma-asiakirjojen perusteella voidaan arvioida vaurioitumiselle riskialttiita kohtia rakenteessa sekä liitosten toimivuutta. Eristerappauksen toteutus voi kuitenkin poiketa huomattavasti suunnitelmista.

Työmaanaikaisista dokumenteista, kuten työmaapäiväkirjasta, voidaan saada tietoa esimerkiksi käytetyistä materiaaleista, rappauksen toteutuksesta, toteutuksen aikaisista rasisolosuhteista ja suunnitelmamuutoksista. Kuormakirjoista voidaan selvittää kohteelle tulleita materiaaleja ja materiaalien järjestelmänmukaisuutta. Lisäksi rakennuksen huoltokirjasta voidaan saada tietoa julkisivussa käytetyistä materiaaleista. Materiaalitoimittajilta saadaan tietoa käytettyjen materiaalien ominaisuuksista ja työohjeista.

Rakenteelle tehdyistä korjauksista, vauriokohdista ja niiden syntyajankohdasta sekä rakenteen toimivuuspuutteista saadaan tietoa esimerkiksi rakennuksen käyttäjiltä, isännöitsijältä ja huoltoyhtiöltä. Rakennuksen julkisivujen rasisustasoa voidaan myös arvioida alustavasti ennen kohdekäyntiä karttapalveluiden ilmakuviav avulla. Esimerkiksi rakennuksen viistosaderasitus ei aina ole suurinta eteläsuuntaisilla julkisivuilla, koska rakennuksen edessä olevat esteet ja maasto vaikuttavat julkisivuun kohdistuvaan viistosademäärään.

10.2 Silmämääräiset havainnot

Rakenteen silmämääräisellä tarkastelulla voidaan saada selville pinnoitteen ja rappauksen silmämääräisesti näkyvät vauriot, pinnoitteen esteettiset haitat, aiemmin tehtyjen korjausten sijainti, mikäli korjauksen jälkeen koko rappaus ei ole uudelleen pintakäsitelty, sekä liitosten toteutus ja niiden toimivuuspuutteet. Silmämääräinen tarkastelu tulee tehdä nostokorista tai kiinteältä telineeltä, jotta tarkastelu voidaan tehdä tarpeeksi läheltä julkisivupintaa. Tällöin on mahdollista havaita kaikki silmämääräisesti havaittavat vauriot ja puutteet. Silmämääräisen tarkastelun avulla tehdään arvio, mille julkisivun osille tarkemmat kenttätutkimukset ja näytteenotto kannattaa kohdistaa (Huovinen et al. 1998, s. 58).

Silmämääräisesti havaittavista vaurioista halkeilun kartoittaminen on eristerappausjärjestelmien kosteusteknisen toiminnan sekä muiden vaurioiden esiintymisen arvioinnissa tärkeä osa. Halkeamien havaitseminen eristerapatuista julkisivuista on kuitenkin havaittu haastavaksi, koska halkeamien leveydet ovat usein pieniä. Halkeamia kannattaa etsiä kohdista, joihin julkisivussa voidaan päätellä syntyvän suurempia jännityksiä. Taulukossa 15 on listattu julkisivun kohtia, joissa halkeilua tyypillisesti esiintyy.

Taulukko 15: Halkeamien tyypillisiä esiintymispaikkoja.

Ohutrappaus-eristejärjestelmät	Paksurappaus-eristejärjestelmät
Aukkojen nurkat	Aukkojen nurkat
Ikkunapielet	Ikkunapielet
Kapeat kannakset	Kapeat kannakset
Sokkeliiliitos	Sokkeliiliitos
Rakennuksen kulmat	Rakennuksen kulmat
Läpivientien ja varusteiden liitoskohdat	Läpivientien ja varusteiden liitoskohdat
Liikennöityjen alueiden läheisyydestä	Liikennöityjen alueiden läheisyydestä
Rappauksen liittyminen toiseen rakennusosaan	Rappauksen liittyminen toiseen rakennusosaan
Hyvin paikallisesti likaantuneet alueet	Hyvin paikallisesti likaantuneet alueet
Saumausten vierestä	Liikuntasaumojen ja tiivistysten vierestä
Elementtien saumat	
Lämmöneristeiden saumat	
Rappausalustan materiaalin muuttuminen (esim. palokatkoissa)	
Listojen ja profiilien jatkoskohdat	

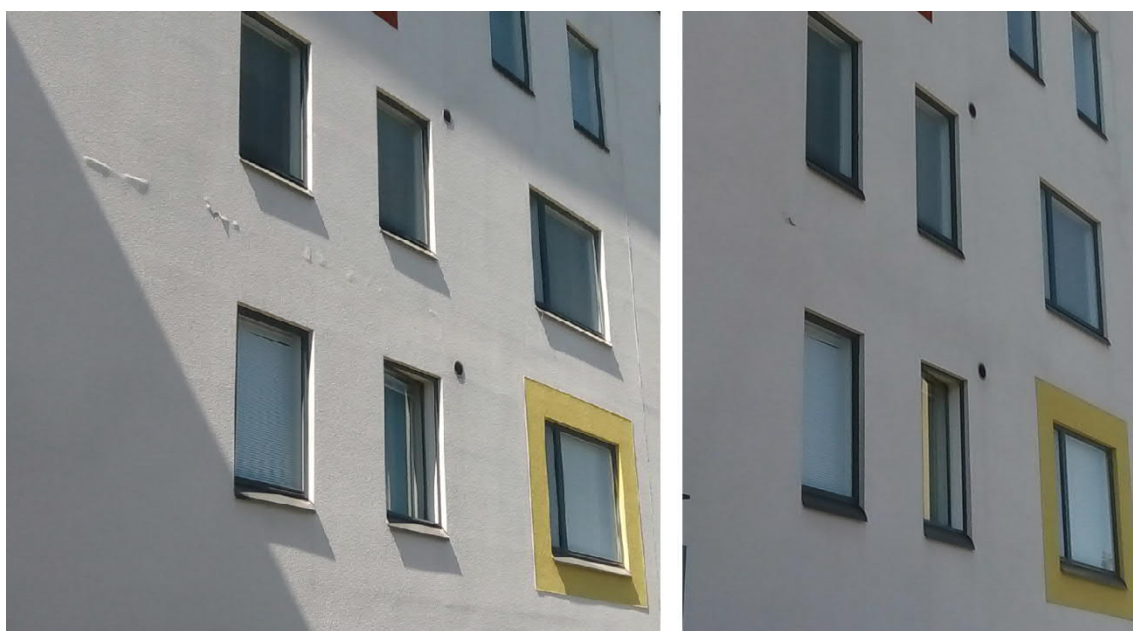
Taulukossa 16 on esitetty halkeiluun johtaneet syyt alueilla, joissa eristerappausjärjestelmissä tyypillisimmin esiintyy halkeilua. Taulukossa mainittujen syiden lisäksi rakenteen ominaisuuksista halkeiluun vaikuttaa aina myös rappauksen paksuus, rappausverkon sijainti, rappausverkkojen määrä ja rappausverkkojen limitykset. Lisäksi materiaaliominaisuudet, kuten laastin vetolujuus, ja rasiustekijät vaikuttavat aina rappauksen halkeiluun.

Taulukko 16: Alueet, joissa eristerappausjärjestelmissä esiintyy tyypillisimmin halkeilua ja halkeiluun johtaneet syyt, jotka riippuvat rakenteen ominaisuuksista.

Halkeaman esiintymispaikka	Halkeamaan johtanut syy
Aukkojen nurkat	<ul style="list-style-type: none"> - Aukkojen nurkkiin kertyvät jännityspiikit - Aukon koko - Lisärappausverkon puuttuminen - Lämmöneristeitä ei ole limitetty aukon reunan kanssa
Kapeat kannakset	<ul style="list-style-type: none"> - Kannaksiin kerääntyvä jännitys
Ikkunapielet	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen painuminen - Rappauksen kiinnittyminen ikkunakarmin
Elementtisaumat (ohutrappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Elementin kutistuminen <p>Tehdasvalmisteiset elementit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lämmöneristeiden saumassa käytetty muusta rappausalustasta poikkeavaa materiaalia - Rappausalustan hammastus <p>Korjaus- ja paikallarakenneet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lämmöneristeiden saumoja ei ole limitetty elementtisaumojen kanssa
Lämmöneristeiden saumat (ohutrappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Lämmöneristeiden erilaiset lämpö- ja kosteusliikkeet rappaukseen verrattuna - Lämmöneristeiden kutistuminen - Lämmöneristeitä ei ole limitetty keskenään - Lämmöneristeiden välissä rakoja - Lämmöneristeiden hammastus
Rappausalustan muuttuminen (ohutrappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Alustojen erilaiset muodonmuutosominaisuudet - Alustojen erilaiset lämpö- ja kosteusliikkeet
Rungon liikuntasäama	<ul style="list-style-type: none"> - Rungon liikkeet - Liikuntasäamaa ei ole toteutettu rappaukseen
Rappauksen liittyminen toiseen rakennusosaan	<ul style="list-style-type: none"> - Rakenteiden erilaiset liikkeet - Liikuntasäaman vääränlainen toteutus
Sokkeliliitos	<p>Ohutrappaus-eristejärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sokkeliprofiilin lämpöliikkeet - Sokkeliprofiilin puuttuminen - Aloituslistan puuttuminen - Liitoksen vääränlainen toteutus <p>Paksurappaus-eristejärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen painuminen - Alusrakenteeseen kiinnitetty sokkelipelti - Rappauksen liian pieni liikevara
Listojen ja profiilien jatkoskohdat	<ul style="list-style-type: none"> - Listojen ja profiilien lämpöliikkeet - Rappausverkon limityksen puutteet
Rappauskenttien vaakasuuntaiset liikuntasäamat (paksurappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen painuminen - Rappauskenttien välillä liian pieni liikevara - Rappauksen kaareutuminen lämpö- ja kosteusliikkeiden takia
Pystysuuntaiset liikuntasäamat (paksurappaus-eristejärjestelmät)	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen painuminen - Rappauksen kaareutuminen lämpö- ja kosteusliikkeiden takia

Rakennuksen kulmien halkeilu	- Erisuuntaisten julkisivupintojen erilaiset liikkeet
Läpiviennit ja varusteet	- Rappauksen liikkeet estetty
Halkeaman esiintymispaikka	Halkeamaan johtanut syy
Liikennöityjen alueiden vieressä oleva rappaus	- Iskut ja törmäykset
Halkeilu liikuntasaumojen ja tiivistysten vieressä	- Saumausmassan tartunnan aiheuttamat jännitykset <ul style="list-style-type: none"> ○ Sauma liian kapea ○ Saumausmassa liian jäykkä

Havaittujen halkeamien sijaintiin, suuntautumiseen ja muotoon tulee kiinnittää huomiota, koska ne antavat tietoa halkeilun syistä. Esimerkiksi ikkunanurkan pystysuuntainen halkeama voi kertoa, että lämmöneristeitä ei ole limitetty ikkunan reunan kanssa, tai julkisivussa oleva yhtenäinen vaaka- tai pystysuuntainen halkeama voi kertoa, että rappausverkoja ei ole limitetty keskenään. Havaitut halkeamat merkitään vauriokarttaan. Halkeamien havainnointia voidaan helpottaa kastelemalla julkisivupintaa tai käyttämällä julkisivupinnan suuntaista valoa. Halkeamien havainnointi helpottuu myös kylmällä ilmalla, kun halkeamaleveydet ovat suurimmillaan. Kuvassa 54 on esitetty viistosta tulevan valon vaikutusta halkeamien ja muiden rappausvaurioiden havaitsemiseen.



Kuva 54: Julkisivun sama osa erilaisessa valaistuksessa. Julkisivupinnan suuntainen valo helpottaa halkeamien havaitsemista.

Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimukseen kuuluu aina myös liitosten, pellitysten, sadevesijärjestelmien, kiinnitysten ja muiden liittyvien rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden tarkastaminen. Liitosten kosteusteknisen toimivuuden avulla voidaan arvioida rappauksen vaurioiden kehittymistä tai syytä. Liitosten toimivuuspuutteet voivat aiheuttaa kosteuden tunkeutumista rappausalustaan, imeytymistä rappauslaasteihin, kosteusrasi-

tuksen keskittymistä tietylle julkisivun osalle tai rappauksen halkeilua. Liitosten tarkastelun yhteydessä tulee kiinnittää huomiota, että liitoksessa on käytetty oikeanlaisia järjestelmiin kuuluvia tuotteita, ja liitosten toteutus on tehty järjestelmätoimittajien ohjeiden mukaan. Liitosten toteutuksen tutkiminen voi vaatia myös rakenteen avaamista. Liitteessä 5 on esitetty liitosten toiminnassa kuntotutkimuksessa huomioon otettavat asiat.

Kaikki havainnot merkitään julkisivun vauriokarttaan. Vauriokartta toimii kuntotutkijan apuna vaurioiden laajuuden arvioinnissa, minkä lisäksi se on tehokas keino havainnollistaa julkisivujen vaurioitumisen laajuutta esimerkiksi tilaajalle. Liitosten toteutuksesta on myös hyvä piirtää detaljeja. Silmämääräisesti havaituista vaurioista kannattaa ottaa paljon valokuvia.

10.3 Kenttätutkimusmenetelmät

Kenttätutkimusmenetelmillä saadaan silmämääräistä tarkastelua tarkempi käsitys rakenteen vaurioiden laajuudesta ja asteesta. Kenttätutkimusmenetelmillä saadaan selville myös rakenteen vaurioita, joita ei voida silmämääräisellä tarkastelulla havaita tai ne ovat vaikeasti havaittavissa. Kenttätutkimusten havainnot merkitään silmämääräisten vaurioiden tapaan julkisivun vauriokarttaan ja mittaustulokset kirjataan ylös.

Eristerappausjärjestelmien näkymättömistä vaurioista merkittävimpiä ovat pakkarapautuminen ja alkanut pinnoitteen tai pintalaastin irtoaminen. Niitä voidaan havainnoida raaputtamalla julkisivua tai vasaroimalla rappausta kevyesti kevyellä kovalla esineellä. Vaurioituneet alueet erottuvat vauriottomista alueista pienemmän lujutensa perusteella, jolloin esimerkiksi rappauksen raaputtamisesta syntyvä ääni muuttuu rapautuneiden kohtien läheisyydessä. (Huovinen et al. 1998, s. 43-44) Vasarointi tulee olla kevyttä etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, jotta vasarointi ei vaurioita julkisivupintaa. Koska alkava pakkarapautuminen ei näy ulospäin, on vasarointi tärkeässä roolissa kuntotutkimuksessa. Koputtelusta tai raaputtamisesta syntyvästä äänestä on kuitenkin vaikea tunnistaa rapautumista. Pakkarapautumista kannattaa etsiä etenkin halkeamien, vuotavien liitosten ja julkisivun kosteusrasitetuimmilta alueilta, kuten julkisivun yläosista ja mineraalivilla-alustaisissa järjestelmissä julkisivun alaosista. Julkisivun alaosan koputtelun yhteydessä on hyvä tutkia pinnoitteen irtoaminen etenkin sokkelilistan päältä.

Rappauksen lujuutta voidaan tutkia myös terävällä esineellä, kuten taltalla tai veitsellä. Kun rappausta painetaan terävällä esineellä, se uppoaa helpommin lujuudeltaan heikompaan rappaukseen.

Silmämääräisesti havaittujen halkeamien leveyksiä voidaan mitata mitta-asteikolla varustetulla pienellä suurennuslasilla eli luupilla. Jos halutaan tarkastella, täyttääkö rappaus halkeiluluokkansa, tulee halkeamien pituuksia ja esiintymistiheyttä myös arvioida. Tällöin tarkastelu tulee kuitenkin tehdä yli 0 °C:n lämpötilassa (Lahdensivu et al. 2016,

s. 27). Luupilla voidaan myös helpottaa ohuiden halkeamien etsimistä alueilla, joissa niitä todennäköisesti esiintyy (Huovinen et al. 1998, s. 44).

Rappausalustaan tunkeutunutta kosteutta tai alueita, joissa rappauksen kosteuspitoisuus on kohonnut, voidaan etsiä pintakosteusosoittimella. Osoitin ei kuitenkaan kerro rakenteen sisältämää kosteutta. Sen antamien arvojen perusteella voidaan kuitenkin etsiä alueita, joissa mahdollisesti esiintyy kohonnut kosteuspitoisuus. (Huovinen et al. 1998, s. 45) Osoittimen antamat lukuarvot voivat kertoa rappauskerroksen paikallisesti suuremmasta kosteuspitoisuudesta, joten kuntotutkijan tulee tulkita ja arvioida osoittimen antamia arvoja tutkiessaan, onko rakenteeseen tunkeutunut ylimääräistä kosteutta. Kohonnut kosteuspitoisuus voidaan tarvittaessa selvittää rakenteesta otetusta näytteestä laboratoriossa.

Pinnoitteen sideaineesta voidaan saada tietoa monella eri tavalla. Orgaaniset pinnoitteet ovat kalvomaisia, ne reagoivat kuumuuteen, niihin ei imeydy kosteutta sekä niistä irtoaa raaputtamalla ohuita lastuja. Vastaavasti epäorgaaniset pinnoitteet ovat mattamaisia, ne eivät reagoi kuumuuteen, niihin imeytyy kosteutta ja ne pölyävät kuivina raaputuksesta. (Huovinen et al. 1998, s. 46-47) Orgaanisten pinnoitteiden tarkempi sideaine voidaan selvittää kemiallisella analyysillä. Epäorgaanisten pinnoitteiden sideaine voidaan selvittää ohuthieellä tai kemiallisella analyysillä.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien iskunkestävyyttä voidaan tutkia heiluritestillä. Testin periaatteet on esitetty ETAG 004 -ohjeessa. Testissä narunpäässä olevan teräspallon annetaan iskeytyä kertaalleen julkisivupintaan. 10 J -isku saadaan aikaan heilauttamalla 1,0 kg teräspallo 1020 mm korkeudesta. Vastaavasti 3 J -isku saadaan aikaan heilauttamalla 0,5 kg teräspallo 610 mm korkeudesta. (ETAG 2013, s. 38) Taulukossa 2 on esitetty eri julkisivuosien luokitus sekä iskunkestävyysvaatimukset.

Ohutrappaus-eristejärjestelmien rappauksen tartuntaa alusrakenteeseen sekä laastikerrosten välistä tai pinnoitteen ja rappauksen välistä tartuntaa voidaan tutkia ulosvetokokeella (Huovinen et al. 1998, s. 48). Kokeessa rappauksen pintaan liimataan neliönmuotoinen vetokappale, joka leikataan kulmahiomakoneella irti muusta rappauksesta. Tämän jälkeen vetokappale vedetään vetomurtoon asti. (ETAG 004 2013, s. 41) Vetokappaleen tulee olla riittävän suuri, koska eristerappausjärjestelmien ulosvetolujuudet eivät ole kovin suuria. Murtokohtaa tutkimalla voidaan myös arvioida rappauksen pakkasrapautumista. Jos murto tapahtuu lämmöneristeestä, on rappauksella hyvä tartunta rappausalustaan eikä laasti ole todennäköisesti pakkasrapautunut. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että lämmöneriste voi myös olla vaurioitunut. Jos murto vastaavasti tapahtuu verkotuslaastista, on laasti mahdollisesti pakkasrapautunut. Vetokokeen kohtaa voidaan käyttää samalla rakenneavauksena.

Julkisivun kohonnutta kosteuspitoisuutta voidaan tutkia myös lämpökamerakuvauksella. Lämpökamerakuvaukselle otollinen ajankohta on marraskuusta huhtikuuhun, kun olo-

suhteet soveltuvat todennäköisimmin kuvaukselle. Lämpökamerakuvaus vaatii kuvaajalta ammattitaitoa. (RT 14-11239 2016, s. 1) Amaro et al. (2014, s. 520) mukaan lämpökamerakuvaus on tehokas kuntotutkimusmenetelmä, koska se ei vaurioita rakennetta ja sen antamia tuloksia voidaan käyttää monien eri vaurioiden analysointiin. Kohonneen kosteuspitoisuuden lisäksi lämpökamerakuvauksella voidaan havaita rappauksen halkeamia, lohkeamia sekä tartunnan vaurioitumista (Amaro et al. 2013, s. 1263). Lämpökamerakuvauksen tulosten perusteella voidaan myös kohdentaa näytteenottoa ja rakenneavauksia esimerkiksi kohtiin, joissa rakenteen kosteuspitoisuus on mahdollisesti kohonnut.

Rappauksen ja pinnoitteiden vedenimukykyä voidaan tutkia julkisivupintaan kiinnitettävällä lasimaljalla (Amaro et al. 2014, s. 520). Suomessa menetelmä ei ole käytössä. Maatutkan käyttöä halkeamien ja rappauksen tartunnan vaurioitumisen havainnointiin olisi syytä tutkia, jotta voidaan arvioida, soveltuuko sen käyttö vaurioiden havainnointiin.

10.4 Näytteenotto ja rakenneavaukset

Eristerappausjärjestelmien rappauksesta otetaan näytteitä, joiden avulla saadaan tarkempaa tietoa rappauksen kunnosta ja vaurioista sekä vaurioon vaikuttavista tekijöistä, kuten rappauskerrosten paksuuksista ja verkon sijainnista. Näytteenottokohdan rappausalusta tulee myös aina tutkia etenkin halkeaman kohdilta otetuista näytteistä, jotta voidaan selvittää vaikuttaako rappausalusta vaurioitumiseen. Lisäksi näytteenottokohdasta saadaan tietoa rappausalustan paksuudesta, kunnosta sekä eristeiden kosteuspitoisuudesta.

Näyte voidaan irrottaa rappauksesta esimerkiksi reikäsahalla, porakoneeseen asennettavalla timanttipuralla tai kulmahiomakoneella. Näytteet pakataan esimerkiksi muovipusseihin, ja niille annetaan tunnus (Huovinen et al. 1998, s. 48), jotta niitä voidaan tarkastella jälkikäteen. Näytteenottokohdat ja näytteiden tunnukset merkitään vauriokarttaan. Kuvassa 55 ohutrappaus-eristejärjestelmästä otetaan näyte porakoneeseen asennetulla timanttipuralla halkeaman kohdalta.



Kuva 55: Näytteenotto ohutrappaus-eristejärjestelmästä porakoneeseen asennetulla ti-manttiporalla.

Kuten ulosvetokokeessa, ohutrappaus-eristejärjestelmissä näytteenottokohdan murtotapaa tutkimalla voidaan saada tietoa laastin tartunnasta rappausalustaan ja rappausten pakkasrapautumisesta. Etenkin näytteen murtuminen laastikerroksesta kertoo laastin vaurioitumisesta.

Järjestelmille voidaan tehdä rakenneavauksia, joilla saadaan tietoa rappausalustan ja alusrakenteen kunnosta ja vaurioista sekä rakenteen toteutuksesta. Rakenneavauskohdan rap-
pausta voidaan käyttää myös materiaalinäytteenä. Lisäksi rappausalustan materiaaleista
voidaan ottaa materiaalinäytteitä, joista voidaan tutkia muun muassa kosteus- ja mikrobi-
vaurioita (Pirinen 2006, s. 82), tai kosteuspitoisuutta. Rakenneavauskohdasta voidaan tut-
kia myös lämmöneristeiden kiinnittymistä alusrakenteeseen tai mekaanisten kiinnikkei-
den kuntoa ja asennuskulmaa. Lämmöneristeiden kiinnittymisen ja mekaanisten kiinnik-
keiden kunnan arviointi on tärkeä järjestelmien turvallisuuden arvioinnin kannalta. Pak-
surappaus-eristejärjestelmissä käytettyjen mekaanisten kiinnikkeiden ruostumattomuus
voidaan todeta magneetilla. Ruostumattomat teräkset ovat antimagneettisia (Lahdensivu
et al. 2013, s. 112).

Näytteenotto- ja rakenneavauskohdat tulee paikata niin, että paikkaus on tiivis ja raken-
teeseen ei pääse muodostumaan halkeamaa näytteenottokohdan paikkauksen ja rappauk-
sen rajapintaan. Käytännössä tämä tarkoittaa rappauksen uudelleen levittämistä ja rap-
pausverkon limittämistä vanhan rappausverkon kanssa. Tällöin kuitenkin työmäärä kun-
totutkimuksessa kasvaa huomattavan suureksi. Näytteenotto- ja rakenneavauskohdat voi-
daan paikata kuntotutkimuksen yhteydessä ilman rappausverkkoa laastilla tai pinnoit-
teella, jos rappaukseen on tulossa muita korjauksia, joiden yhteydessä rappaus voidaan
paikata oikeaoppisesti. Paikkausta ei saa tehdä liian kylmällä säällä, jottei laasti pääse
jäätymään ennen sitoutumista.

10.4.1 Rappausnäytteiden tutkiminen silmämääräisesti

Näytteiden silmämääräinen tarkastelu on tärkein näytteille tehtävä tarkastelu, koska siten
saadaan edullisesti suhteellisen laaja kuva rappauksen kunnosta ja toteutuksesta. Silmä-
määräisellä tarkastelulla saadaan tietoa rappauskerrosten ja pinnoitteen paksuuksista, rap-
pausverkon sijainnista ja olemassaolosta, pohjusteaineen käytöstä, rappauksen läpi me-
nevistä halkeamista sekä rappauksen rapautumisesta.

Silmämääräisessä tarkastelussa voidaan käyttää apuna luuppia tai mikroskooppia. Tällöin
tarkastelun tarkkuus paranee.

10.4.2 Näytteenottokohdat ja näytemäärät

Näytteenotto kohta ja näytemäärät riippuvat pitkälti julkisivun kunnosta ja näkyvien vau-
rioiden määrästä. Kuntotutkijan tehtäviin kuuluu arvioida, mistä kohdista näytteet kannat-
taa ottaa, mitä niille kuuluu tehdä ja kuinka paljon niitä tulee ottaa. Näytteenotto kohtaa
arvioidessa pitää ottaa huomioon rappauksen kunto ja vauriot, rasisustaso ja kuntotutki-
muksen tavoitteet.

Täysin ehjästä rappauksesta kannattaa ottaa näytteitä harkitusti, jos rappauksen vaurioitumiselle ei ole selvää perustetta. Näytteitä kannatta kuitenkin ottaa muutamia, koska muita kuntotutkimusmenetelmiä on vähän. Jos halutaan selvittää esimerkiksi laastin pakkasrapautumista, kannattaa näyte ottaa julkisivun rasitetuimmasta kohdasta, koska silloin ohuthieestä voidaan saada selville mahdollinen alkanut pakkasrapautuminen. Lisäksi näytteistä voidaan selvittää laastien pakkasenkestävyysominaisuuksia sekä eri rappauskerrosten tartuntaa toisiinsa.

Silmämääräisten tai kenttätutkimusmenetelmien havaintojen perusteella laajalti pakkasrapautuneesta julkisivusta ei tarvitse ottaa kovinkaan paljoa näytteitä, jos rappauksen kokonaan uusiminen on ainut korjausvaihtoehto. Näytteitä on kuitenkin hyvä ottaa, jos halutaan selvittää pakkasrapautumisen syy. Näyte kannattaa ottaa mahdollisimman läheltä pakkasrapautunutta aluetta niin, että saadaan kuitenkin ehjä näyte.

Paikoitellen pakkasrapautuneesta julkisivusta kannattaa ottaa näytteitä vaurioituneen kohdan läheisyydestä, jotta saadaan ehjä näyte, ja jotta voidaan selvittää pakkasrapautumisen laajuus ja aste rapautuneen kohdan ympäristössä. Tällöin saadaan enemmän tietoa rappauksen korjattavuuden arviontiin. Näytettä ei kannata ottaa suoraan pakkasrapautuneesta kohdasta, jos voidaan olettaa, että laastin ominaisuudet ovat samanlaiset myös kohdan ulkopuolella. Tällöin pakkasrapautumisen syyn analysointi onnistuu myös muista näytteistä. Alkanutta pakkasrapautumista voidaan tutkia ohuthietutkimuksessa.

Satunnaisesti tai laaja-alaisesti halkeilleesta julkisivusta otetaan näytteitä halkeamien syiden selvittämiseksi. Näyte tulee ottaa halkeaman kohdalta, koska tällöin saadaan tietoa halkeaman mahdollisesta syystä, syvyydestä ja syntyajankohdasta. Näytteen silmämääräinen tutkiminen antaa riittävästi tietoa halkeilun syystä, koska silmämääräisellä tarkastelulla saadaan tietoa esimerkiksi rappauksen paksuudesta, rappausverkon sijainnista ja määrästä sekä rappausverkkojen limittymisestä keskenään. Näytteenottokohdassa on tärkeä tarkastella myös rappausalustaa, jotta voidaan selvittää vaikuttaako se halkeiluun. Halkeaman syntyajankohtaa voidaan yrittää selvittää ohuthietutkimuksessa. Samalla saadaan tietoa laastin pakkasenkestävyysominaisuuksista ja pakkasrapautumisen olemassaolosta. Jos halutaan selvittää laastin alkanutta pakkasrapautumista, kannattaa näytteenotto kohdistaa rasitetuimmille julkisivun osille. Näytteitä ei tarvitse ottaa jokaisen halkeaman kohdalta vaan kuntotutkijan on hyvä ryhmitellä eri halkeamatapaukset omiksi ryhmikseen, ja ottaa 1-2 näytettä ryhmää kohden. Laaja-alaisesti halkeilleelta alueelta on hyvä ottaa 1-2 näytettä.

Julkisivuissa, joissa on havaittavissa pinnoitteen tai pintarappauksen irtoamista, näyte kannattaa ottaa vaurioituneen alueen ulkopuolelta ja vaurioituneesta alueesta, jos alue ei ole vielä silmämääräisten tai kenttätutkimusmenetelmien havaintojen perusteella pakkasrapautunut. Vaurioituneen alueen ulkopuolelta otetusta näytteestä selvitetään pinnoitteen tai pintarappauksen irtoamisen syitä, kuten puutteellista tartuntaa. Vaurioituneesta kohdasta otetusta näytteestä selvitetään mahdollinen pakkasrapautuminen.

Julkisivuista tulee myös ottaa verrokinäytteitä ehjiltä alueilta. Verrokinäytteistä selvittää laastikerrosten paksuus, rappausverkon sijainti, pinnoitekerroksen paksuus sekä ohut- hietutkimuksessa laastin pakkasenkestävyysominaisuudet ja laastin koostumus. Verrokinäytteistä tehtäviä havaintoja verrataan vauriokohdista otettuihin näytteisiin. Verrokinäytteille hyvä määrä on noin 3 näytettä. Taulukkoon 17 on koottu erilailla vaurioituneiden julkisivujen näytteenoton syy, näytteenotto kohta ja näytemäärä. Näytemäärät ovat ohjeellisia. Kuntotutkijan tulee itse arvioida näytemäärän suuruutta kohdekohtaisesti silmämääräisesti havaittujen vaurioiden perusteella niin, että näytteistä saadaan luotettava tulos.

Taulukko 17: Eristerapatun julkisivun näytteenottotarve, näytteenotto kohta ja näytemäärä erilailla vaurioituneissa julkisivuissa.

Vaurioaste	Näytteenoton syy	Näytteenotto kohta	Näytemäärä
Täysin pakkasrapautunut julkisivu	Pakkasrapautumisen syyn selvittäminen (laastin pakkasenkestävyysominaisuudet)	Pakkasrapautuneen kohdan läheisyydestä niin, että saadaan ehjä näyte	
Paikoitellen pakkasrapautunut julkisivu	Pakkasrapautumisen laajuus, aste ja tulevaisuuden kehittyminen Laastin pakkasenkestävyysominaisuudet	Pakkasrapautuneen kohdan läheisyydestä	1 näyte/rapautunut kohta
Satunnaisesti halkeillut julkisivu	Halkeamien syyt ja syntyajankohdat Pakkasrapautumisen olemassaolo ja aste	Halkeaman kohdalta Rasitetuin julkisivun osa	1-2 näytettä/halkeamatyyppi
Laaja-alaisesti halkeillut julkisivu	Halkeamien syyt ja syntyajankohdat Pakkasrapautumisen olemassaolo ja aste	Halkeaman kohdalta Rasitetuin julkisivun osa	1-2 näytettä/laaja-alaisesti halkeillut alue
Paikoitellen pinnoitteen tai pintarappauksen irtoamista	Pinnoitteen tai pintarappauksen tartunnan puutteet Pakkasrapautumisen olemassa olo ja aste	Vaurioituneen kohdan ulkopuolelta Vaurioitunut kohta	1 näyte/alue 1 näyte/alue, jos pakkasrapautumista ei muilla tavoilla havaita
Ehjä julkisivu	Pakkasenkestävyysominaisuuksien selvittäminen Rappauskerrosten tartunta toisiinsa	Rasitetuin julkisivun osa	

	Alkava pakkasrapautuminen		
--	---------------------------	--	--

10.5 Laborioriotutkimukset

Rappauksista otetuille näytteille voidaan tehdä laborioriotutkimuksia. Laborioriotutkimuksilla saadaan yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa tietoa materiaalien ominaisuuksista, kunnosta ja vaurioista.

Eristerappausjärjestelmissä tärkein laborioriotutkimusmenetelmä on ohuthietutkimus, koska muita käytännöllisiä tutkimusmenetelmiä ei ole kehittynyt. Muita laborioriotutkimusmenetelmiä ovat esimerkiksi laastianalyysi sekä materiaalinäytteen kosteuspitoisuuden, vesihöyrynläpäisevyyden, vedenimeytymisen tai vetokestävyyden määrittäminen.

10.5.1 Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimus on laborioriotutkimusmenetelmä, jossa rappausnäytteestä hiotaan julkisivupintaan nähden kohtisuorassa suunnassa ohut noin 25-30 µm paksu hie siten, että näytteeseen kuuluu kokonaisuudessaan kaikki rappaus- ja pinnoitekerrokset. Näytettä tarkastellaan polarisaatiomikroskoopilla, jolla saadaan yksityiskohtaista tietoa rappauksen kunnosta ja ominaisuuksista. (Huovinen et al. 1998, s. 49) Taulukossa 18 on lueteltu ohuthietutkimuksessa selville saatavia asioita.

Taulukko 18: Ohuthietutkimuksessa selville saatavia asioita.

Laastin ominaisuudet:	<ul style="list-style-type: none"> - Arvio pakkasenkestävyydestä <ul style="list-style-type: none"> o Ilmahuokosten määrä o Ilmahuokosten koko o Ilmahuukosjako - Sideaine - Arvio sideaineiden suhteista - Runkoaineen tyyppi - Runkoainejakauma - Runkoaineen maksimiraekoko - Sideaine-runkoainesuhde - Sideaine-runkoainekontakti - Karbonatisoitumissyvyys - Kiteytymät
Rakenteen ominaisuudet:	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauskerrosten paksuudet - Pinnoitekerroksen paksuus - Rappauskerrosten tartunta toisiinsa ja tartunnan puutteet - Pinnoitteen tartunta rappaukseen - Rappausverkon sijainti - Rappausverkon tartunta rappaukseen - Pinnoite- ja maalikerrosten määrä - Pohjusteaineen käyttö
Vauriot:	<ul style="list-style-type: none"> - Pakkasrapautuminen <ul style="list-style-type: none"> o Aste o Syntyajankohta (plastinen vaihe / sitoutunut laasti) - Rappauksen halkeilu <ul style="list-style-type: none"> o Syntyajankohta (plastinen vaihe / sitoutunut laasti) o Leveys o Syvyys

Ohuthietutkimuksella saadaan tarkempaa tietoa näytteen kunnosta ja ominaisuuksista kuin silmämääräisellä tarkastelulla. Silmämääräisellä tarkastelulla saadaan kuitenkin edullisesti tietoa esimerkiksi rappauskerrosten paksuudesta, verkon sijainnista, pinnoituskerroksen paksuudesta ja pohjusteaineen käytöstä. Tällöin silmämääräisellä tarkastelulla saadaan suurempi otanta kuin ohuthietutkimuksella, jolloin tulos on edustavampi.

Ohuthietutkimuksella saadaan kuitenkin paljon tietoa, jota silmämääräisellä tarkastelulla ei saada. Tärkeimmät ohuthietutkimuksella saatava lisätieto liittyy laastin ominaisuuksien, kuten pakkasenkestävyyden, pakkasrapautumisen, rappauskerrosten sekä pinnoitteen ja rappauksen välisen tartunnan, halkeamien syntyajankohdan, rappausverkon tartunnan sekä pinnoite- ja maalikerrosten määrien selvittämiseen. Laastin ominaisuuksien selvittäminen antaa tietoa laastin laadusta. Ominaisuuksien selvittäminen ei vaadi kovin suurta ohuthieiden määrää, kun on perusteltua olettaa, että käytetyt laastit ovat saman materiaalitoimittajan tuotteita. Laastin ominaisuudet voivat kuitenkin vaihdella esimerkiksi sekoitusaikojen, laastiin lisättävän vesimäärän tai muiden työmenetelmien takia.

Laastin pakkasenkestävyysominaisuuksia voidaan arvioida laastin ilmahuokosten määrän ja koon sekä ilmahuokosjaon perusteella. Laastin pakkasrapautuminen havaitseminen on ohutietutkimuksen tärkeimpiä tuloksia, koska silmämääräisellä tarkastelulla ja kenttä-tutkimusmenetelmillä havaitaan usein vain pitkälle edennyt pakkasrapautuminen. Rap-pauskerrosten sekä pinnoitteen ja rappauksen välisen kontaktin selvittäminen antaa tietoa tartunnan puutteista ja työnsuorituksesta. Esimerkiksi ohutrappaus-eristejärjestelmien verkotuslaastikerroksessa näkyvä terävä raja kertoo verkotuslaastin nahkoittumisesta laastikerrosten välissä. Halkeaman tai pakkasrapautuman syntyajankohtaa voidaan arvi-oida tutkimalla halkeaman reunojen muotoja. Plastisessa vaiheessa muodostuneiden hal-keamien reunat ovat sileitä, kun taas sitoutuneen laastin halkeamien reunat ovat rosoiset.

Laboratorioon lähetettävissä näytteissä olisi hyvä olla lyhyt yleiskuvaus näytteenottopai-kasta sekä tieto järjestelmätoimittajasta.

10.5.2 Ympäristölle ja terveydelle haitalliset aineet

Eristerappausjärjestelmien pinnoitteet voivat sisältää asbestia. Asbestin tai asbestipitoi-sen tuotteen myyminen ja käyttö Suomessa kiellettiin 1.1.1994, ja valmistus sekä maa-hantuonti kiellettiin 1.1.1993 (Valtionneuvon päätös 852/1992). Tästä johtuen ennen vuotta 1994 valmistuneista eristerappausjärjestelmistä tulee selvittää, sisältävätkö niissä käytettävät materiaalit asbestia (Valtioneuvoston asetus 798/2015).

10.5.3 Muut laboratoriotutkimukset

Laboratoriossa laasteille voidaan tehdä laastianalyysi, jossa selviää laastien seossuhteet. Lisäksi pinnoitteille ja laasteille voidaan tehdä myös kemiallinen analyysi, jossa selviää niiden sideaine.

Rappauksen tai lämmöneristeen kosteuspitoisuutta voidaan tutkia näytteiden punnitus-kuivausmenetelmällä (Huovinen et al. 1998, s. 45). Testaus voi olla tarpeen, jos halutaan todentaa rappauksen tai lämmöneristeen kohonnut kosteuspitoisuus. Testi perustuu näyt-teen painonmuutokseen kuivatuksen aikana.

Pinnoitteen ja rappauksen vesihöyrynläpäisevyyttä voidaan tutkia laboratoriossa niin sa-notulla kuppitestillä (Huovinen et al. 1998, s. 50). Testaus voi olla tarpeen, jos esimerkiksi rappauksen pinnoitteen tai verkotuslaastin arvioidaan olevan liian tiivis vesihöyryn dif-fusion näkökulmasta. Testissä rappauksesta otettu näyte asetetaan testikupin kanneksi niin, että kupin ja näytteen välinen sauma on tiivis. Testikuppi asetetaan vakio-olosuhteisiin ja sen sisälle luodaan vakio ilman vesihöyrypitoisuus. Testikupin painonmuutoksen avulla saadaan pinnoitteen tai rappauksen suhteellinen diffuusiovastus.

Rappauksen vedenimeytymisominaisuuksia voidaan tutkia upottamalla näyte pinnoite-puoli alaspäin vesiupotukseen. Testaus perustuu ETAG 004 -ohjeeseen (2013, s. 32-33).

Näytteen muut pinnat suojataan, jotta imeytymistä ei pääse tapahtumaan niistä. Veden imeytymisominaisuuksien tutkiminen voi olla tarpeen, jos kuntotutkimuksessa herää epäily, että järjestelmä imee enemmän kosteutta kuin järjestelmän suoritustasoilmoituksessa on ilmoitettu esimerkiksi pinnoitteen harvarakeisuuden tai pohjusteaineen puuttumisen takia. Testaus perustuu näytteen painon muutokseen upotuksen aikana.

Ohutrappaus-eristejärjestelmissä halkeamien muodostuminen on keskeisin vauriomekanismi. Halkeamien muodostumisen syiden selvittämiseen ei kuitenkaan ole laboratorio-tutkimusmenetelmiä. Rappauksen halkeamakäyttäytymistä ja vetolujuutta voitaisiin tutkia vetämällä 100x600 mm² -kokoinen näyte ETAG 004 -ohjeen (2013, s. 60-63) mukaisesti, mutta testin toteutus suoraan sellaisenaan on varsin hankalaa julkisivusta otetulle näytteelle. ETAG 004 -ohjeen mukaisessa testauksessa testi tehdään ilman pinnoitteita, rappausverkon tulee jatkua näytteen päätyjen yli ja näytteen koko on melko suuri. Rappauksen halkeamakäyttäytymistä ja vetolujuutta voidaan kuitenkin tutkia vetämällä pienempi näyte asteittain 0,05-0,1 mm halkeamaleveyteen, joka on Suomessa käytettävien ohutrappaus-eristejärjestelmien ja vettähylykivillä pinnoitteilla käsiteltyjen rappauksen sallittu halkeamaleveys. Halkeaman muodostumiseen vaadittavan venymän perusteella voidaan arvioida rappauksen kestävyyttä pakkovoimia vastaan.

10.6 Analysointi ja raportointi

Kuntotutkimuksen lopuksi eri tutkimusmenetelmillä saadut tiedot rakenteesta ja sen vaurioitumisesta kootaan yhteen ja niille suoritetaan analyysi. Analyysissä tietojen tarkastelun ja tulkinnan avulla tehdään johtopäätöksiä rakenteen korjaustarpeesta ja vaurioiden vaikutuksesta asukkaiden ja muiden ihmisten turvallisuuteen (Lahdensivu et al. 2013, s. 123).

Analyysissä jokainen erilainen vauriotyyppi käsitellään omana tapauksenaan. Tällöin kuntotutkimuksen eri vaiheissa saatuja tietoja, havaintoja ja mittauksia käsitellään yhtä vauriotyyppiä kohden kerrallaan. Tällöin saadaan kuva vaurion olemassaolosta, laajuudesta, sijainnista, asteesta, syystä, vaikutuksesta järjestelmän toimintaan sekä oletetusta tulevaisuuden kehityksestä. Jos eri tavoilla saadut tiedot ovat toisistaan ristiriitaisia, tulee kuntotutkijan arvioida tietojen luotettavuutta ja painoarvoa. Ristiriidoille tulee myös löytää selitys. (Lahdensivu et al. 2013, s. 123-125) Vaurioiden syntymisen syissä vauriota tulee tarkastella syy-seuraussuhteen avulla. Analyysin tuloksena saadaan tieto vaurion tilasta niin, että voidaan tehdä johtopäätös siitä, miten vaurio vaikuttaa rakenteen turvallisuuteen, muihin ominaisuuksiin, korjaustarpeen laajuuteen ja ajankohtaan sekä korjaustapaan. (Lahdensivu et al. 2013, s. 124)

Analyysin jälkeen kaikki kuntotutkimuksessa kertynyt tieto ja analyysin johtopäätökset kootaan kuntotutkimusraporttiin, jonka tarkoitus on välittää kuntotutkimuksen tiedot tilaajalle sekä mahdolliseen tulevaan korjaussuunnitteluun. Raporttia laadittaessa on hyvä ottaa huomioon, että raporttia voi lukea asiaan perehtymätön henkilö tai henkilö, jolle

kuntotutkimuksen kohde ei ole tuttu. Kuntotutkimusraporttiin on hyvä koostaa lyhyet kuvaukset eristerappausjärjestelmien vauriomekanismeista ja kuntotutkimusmenetelmistä asiaan perehtymälle henkilölle. (Lahdensivu et al. 2013, s. 137)

Kuntotutkimusraportin rakenne tulee olla johdonmukainen ja selkeä siten, että yhtä asiaa koskevat seikat on esitetty samassa paikassa. Raportissa tulee myös selittää, miten kuntotutkimuksen johtopäätöksiin on päädytty. Lisäksi johtopäätösten epävarmuus on tuotava esiin. Raportissa ei oteta kantaa asioihin, joita kuntotutkimuksessa ei ole selvitetty. (Lahdensivu et al. 2013, s. 137)

Kuntotutkimusraporttiin liitetään vauriokartta, johon on merkitty kaikki silmämääräiset ja kenttätutkimusmenetelmien havainnot sekä näytteenotto- ja rakenneavauskohdat. Lisäksi raportissa on hyvä käyttää valokuvia kuntotutkimushavaintojen havainnollistamiseen. Valokuvat eivät kuitenkaan korvaa kuntotutkimushavaintojen sanallista esittämistä tekstissä vaan niiden on tarkoitus toimia tekstin apuna, koska valokuvista asiaan perehtymättömän voi olla vaikea havaita kuvan pääinformaatiota. Lisäksi suuri kuvien määrä voi antaa väärän käsityksen korjaussuunnittelijalle kohteen tilasta, jos asiaa ei ole avattu tekstissä. Valokuvia voidaan esittää erikseen valokuvaliitteessä. Valokuvista tulee myös ilmetä, mistä ne on otettu.

11. YHTEENVETO

Eristerappausjärjestelmät voivat vaurioitua usealla eri tavalla. Jotta vaurio pääsee syntymään, tulee rasiustason, materiaaliominaisuuksien ja rakenteen ominaisuuksien olla sellaiset, että ne mahdollistavat vaurion syntymisen. Vauriot aiheuttavat rakenteen toimivuuteen puutteita, jotka vaikuttavat vastaavasti rakenteen käyttöikäen.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että tyypillisin vaurio sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmissä on rappauksen halkeilu. Rappauksen halkeamat lisäävät julkisivun kosteusrasitusta yhdessä toimimattomien liitosten kanssa. Kasvanut kosteusrasitus aiheuttaa vastaavasti eristerappausjärjestelmille muita vaurioita, kuten laastin pakkasrapautumista sekä pinnoitteen irtoamista. Jotta kasvanut kosteusrasitus ei ehdi vaurioittamaan järjestelmiä muilla tavoin, tulisi halkeamat korjata heti niiden ilmestyttyä. Lisäksi, jos halkeilua havaitaan rakennuksen yhden julkisivun yhdellä osalla, olisi rakennuksen kaikki julkisivut hyvä tutkia. Halkeiluun vaikuttavista rasiustekijöistä merkittävimpiä ovat pakko-voimia aiheuttavat muodonmuutokset, kuten rappauksen painuminen, lämpö- ja kosteusliikkeet sekä laastin kutistuminen.

Eristerappausjärjestelmien käyttöikäen vaikuttavista tekijöistä merkittävin on kosteusrasitus, koska se on mukana monessa vauriomekanismissa, ja koska eristerappausjärjestelmien kuivuminen on hidasta. Kosteusrasituksen lisäksi muita merkittäviä eristerappausjärjestelmien käyttöikäen vaikuttavia tekijöitä ovat muut säärasitukset, mekaaniset rasiukset, suunnittelu- ja työvirheet sekä kunnossapidon laiminlyönti. Suunnittelu- ja työvirheet lisäävät kosteusrasitusta sekä välillisesti esimerkiksi halkeamien kautta että välittömästi esimerkiksi toimimattomien liitosten kautta. Muita merkittäviä säärasitustekijöitä ovat pakkasrasitus, lämpötilanvaihtelut ja UV-säteily.

Tutkimuksessa havaittiin, että eristerappausjärjestelmien vakava vaurioituminen voi olla myös nopeaa. Tämä nostaa kiinteistöjen omistajien sekä muiden kunnossapidosta vastaavien tahojen vastuuta tarkkailla julkisivujen kuntoa säännöllisesti. Julkisivuille olisi syytä tehdä halkeamakartoitus parin vuoden sisään rappauksen valmistumisesta, jotta halkeamien ja toimimattomien liitosten kautta rappausalustaan tunkeutuva ja rappaukseen imeytyvä kosteus ei ehdi vaurioittaa rappausa vakavammin. Tämä huomioon ottamalla ja halkeamien sekä toimimattomien liitosten nopealla korjaamisella eristerappausjärjestelmillä päästäneen niille asetettuun 25 vuoden käyttöikäen.

Tutkimusaineiston pohjalta eristerappausjärjestelmissä ei havaittu merkittäviä määriä esteettisiä haittoja, kuten julkisivujen likaantumista tai kasvustoja. Esteettisiä haittoja ei esiintyne eristerappausjärjestelmissä yhtään enempää kuin muissa julkisivurakenteissa. Likaantuminen ja kasvustot on kuitenkin helpompi havaita eristerappausjärjestelmien

kirkkaista ja vaaleista pinnoitteista kuin esimerkiksi harmaasta betonipinnasta. Esteettisten haittojen olemassaolon tiedostaminen on kuitenkin tärkeää rakennusten käyttäjien ja omistajien näkökulmasta. Julkisivut ovat yleensä ainoita ulospäin näkyviä rakenteita, joten muut ihmiset muodostavat julkisivujen perusteella ennakkokuvansa rakennuksen kunnosta. Tällöin esteettiset haitat voivat aiheuttaa rakennusten omistajille esimerkiksi taloudellista haittaa kiinteistön arvon alenemisen kautta sekä muunlaista mielipahaa. Julkisivujen likaantumisesta ja kasvustojen aiheuttamasta haitasta päästään kuitenkin eroon hyvällä kiinteistön huollolla ja kunnossapidolla.

Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimuksissa painotus on silmämääräisissä tutkimusmenetelmissä sekä suunnitelma-asiakirjojen ja muun tausta-aineiston tarkastelussa, koska järjestelmille ei ole kehittynyt vielä toimivia kuntotutkimusmenetelmiä. Silmämääräisellä tarkastelulla voidaan havaita rappauksen halkeilu ja toimimattomat liitokset, joilla molemmilla on suuri vaikutus järjestelmien kosteustekniseen toimintaan. Halkeamien syitä voidaan vastaavasti selvittää rakenneavauksien ja näytteenoton avulla. Pakkasrapautumista ja rakenteen eri kerrosten välisten tartunnan vaurioita voidaan tutkia vasaroimalla tai raaputtamalla julkisivupintaan tai ohuthienäytteillä. Ohuthietutkimuksella saadaan lisäksi paljon tietoa rappauksen ominaisuuksista ja vaurioista, joita silmämääräisellä tarkastelulla ei pystytä havaitsemaan.

LÄHTEET

Aho, H., Inha, T. & Pentti, M. (2006). Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos, Tutkimusraportti 134, Tampere, 106 s. + liitt. 38 s.

Aho, H., Korpi, M. (toim.), Vinha, J., Lindberg, R., Mattila, J., Lahdensivu, J., Hietala, J., Suonketo, J., Salminen, K. & Lähdesmäki, K. (2009). Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 141, Tampere, 100 s.

Amaro, B., Saraiva, D., De Brito, J. & Flores-Colen, I. (2013). Inspection and diagnosis system of ETICS on walls, *Construction and Building Materials*, vol. 47, ss. 1257-1267.

Amaro, B., Saraiva, D., De Brito, J. & Flores-Colen, I. (2014). Statistical survey of the pathology, diagnosis and rehabilitation of ETICS in walls, *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 20, no. 4, ss. 511-526.

Arabi, N., Molez, L. & Rangeard, D. (2018) Durability of alkali-resistant glass fibers reinforced cement composite: Microstructural observations of degradation, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol. 62, no. 3, 7 s.

Asp-Lehtinen, M., Tuuliniemi, V. & Pentti, M. (1991). Julkisivumaaleista ja niiden kestävydestä betonialustalla, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka, Raportti 44, Tampere, 138 s.

Asumisterveysopas (2008). Asumisterveysopas, 2. painos, Sosiaali- ja terveysministeriö, Pori, 200 s.

Barreira, E. & de Freitas, V.P. (2013). Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS), *Building and Environment* vol. 63, ss. 31-39.

Betoniteollisuus ry (2018). Betonisten ulkoseinäelementtien eristeen suojaus varastoinnissa ja kuljetuksessa, 9 s.

Bonten, C. & Berlich, R. (2001). Aging and chemical resistance, Hanser, Munich, 128 s.

Boverket (2009). Så mår våra hus - redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m., Boverket, Karlskrona, 125 s.

Brasholz, A., Gatz, K., Halmburger, K., Engroos, N. & Immonen, K. (1985). Julkisivumaalaus: Alusta, aineet, toteutus, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, 206 s.

Burström, P. (1977). Durability and ageing of sealants., Division of Building Materials the Lund Institute of Technology, Report TVBM-3003, Lund, 117 s.

Chandra, S. & Ohama, Y. (1994). Polymers in Concrete, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 204 s.

Caimi, S., Timmerer, E., Banfi, M., Storti, G. & Morbidelli, M. (2018). Core-shell morphology of redispersible powders in polymer-cement waterproof mortars, *Polymers*, vol. 10, no. 10 2018, 13 s.

Chatterji, S. & Jensen, A.D. (1989). Efflorescence and breakdown of building materials, *Nordic Concrete Research*, No. 8, ss. 56-61.

EAE. European Association of External Thermal Insulation Composite systems. Long-term performance, verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 09.07.2018): <https://www.eaetics.eu/etics/long-term-performance/>.

ETAG 004 (2013). Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering, European Organisation for Technical Approvals EOTA, Brussels, 143 s.

Fagerlund, G. (1977). The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete, *Material and Structures*, vol. 10, no. 4, ss. 217-229.

Flörke, O.W., Graetsch, H.A., Brunk, F., Benda, L., Paschen, S., Bergna, H. E., Roberts, W.O., Welsh, W.A., Libanati, C., Ettliger, M., Kerner, D., Maier, M., Meon, W., Schmoll, R., Gies, H. & Schiffmann, D. (2008). Silica, Teoksessa: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ss. 422-507.

de Freitas, S.S. & de Freitas, V.P. (2016). Cracks on ETICS along thermal insulation joints: case study and a pathology catalogue, *Structural Survey*, vol. 34, no. 1, ss. 57-72.

Fridell Anter, K., Svedmyr, Å., Niemi, L. & Anter, K.F. (2004). Mikä talolle väriksi, Kustannus Oy Hakkuri, Helsinki, 104 s.

Giebler, G., Krause, H., Fisch, R., Musso, F., Lenz, B. & Rudolphi, A. (2009). Refurbishment Manual: Maintenance, Conversions, Extensions, Walter de Gruyter GmbH, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 280 s.

Grönroos, T. & Huovinen, S. (2001). Polymeerimodifioitujen laastien vanheneminen, Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 120, Espoo, 70 s. + liitt. 25 s.

Hekkanen, M. (1990). Lisäeristysmenetelmien kesto – kokemuksia julkisivun lisäeristämisestä, Raportti 4, Teoksessa: Julkisivun lisäeristäminen, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, ss. 197-244.

Holm, A. & Künzl, H. (1999). Combined effect of temperature and humidity on the deterioration process of insulation materials in ETICS, 5. Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Gothenburg, 10 s.

Holm, A., Zillig, W. & Künzl, H.M. (2004). Exterior Surface Temperature and Humidity of Walls – Comparison of Experiment and Numerical Simulation, Buildings IX, 9 s.

Huovinen, S., Hakkarainen, H., Outinen, K. & Salmikivi, S. (1998). Rapatun julkisivun kuntotutkimus, by 44, Suomen betoniyhdistys ry, Helsinki, 112 s.

Huvi, K., Hyttinen, R., Lindeman, V. & Uusimaa, V-M. (1990). Lisäeristämisen työtekniikka, toimitustavat, teettäminen ja kustannukset – vaikutukset valintaan, Raportti 3, Teoksessa: Julkisivun lisäeristäminen, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, ss. 129-195.

Hytönen, M. (1997). Betonijulkisivujen lisälämmöneristäminen lasivilla-ohutrappausrakenteella, Tampereen teknillinen yliopisto, Diplomityö, 63 s. + liitt. 29 s.

Ilmasto-opas. Kasvihuonekaasujen päästö- ja pitoisuusskenaariot, verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 08.08.2018): <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/5101fae4-2702-413c-a3f3-707328fb0d07/kasvihuonekaasujen-paasto--ja-pitoisuusskenaariot.html>.

Ilmatieteen laitos. Lämpötilaennätyksiä, verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 27.07.2018): <http://ilmatieteenlaitos.fi/lampotilaennatyksia>.

Ilmatieteen laitos. UV-säteily, verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 09.08.2018): <http://ilmatieteenlaitos.fi/uv-sateily>.

ISO 15686-1 (2011). Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles, 21 s.

Jansson, A. & Hansén, M. (2015). Putsade enstegstätade regelväggar, Erfarenheter från undersökningar som SP har utfört, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2015:01, Borås, 75 s.

Jergling, A. & Schechinger, B. (1983). Fogars beständighet, Fogar i ytterväggar, Byggnadsforskningsrådet, Rapport R89:1983, Stockholm, 172 s.

Johansson, S., Wadsö, L. & Sandin, K. (2010). Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements, Building and Environment, vol. 45, no. 5, ss. 1153-1160.

- Jolkkonen, K. & Huovinen, S. (2000). Pinnoitteiden vaikutus sandwich-elementtien käyttöikään, Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 112, Espoo, 123 s. + liitt. 30 s.
- Jukkola, E. (päätoim.) (1997), Julkisivujen korjausopas, Julkisivuyhdistys ry, Helsinki, 114 s.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. (2009). Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten, ACCLIM-hankkeen raportti 2009, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4, Helsinki, 102 s.
- Kokko, P. & Lindberg, R. (2001). EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytykset uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Tutkimusselostus 1006, Tampere, 9 s. + liitt. 53 s.
- Künzel, H. & Zirkelbach, D. (2008). Influence of rain water leakage on the hygrothermal performance of exterior insulation systems, 8th Nordic Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Copenhagen, 8 s.
- Kvande, T., Bakken, N., Bergheim, E. & Thue, J.V. (2018). Durability of ETICS with rendering in Norway – Experimental and field investigation, Buildings, vol. 8, no. 7, 17 s.
- Lagaly, G., Tufar, W., Minihan, A. & Lovell, A. (2000). Silicates, Teoksessa: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ss. 509-572.
- Lahdensivu, J. (2005). Rappauskirja 2005, by 46, Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki, 158 s.
- Lahdensivu, J. (2012). Durability properties and actual deterioration of Finnish concrete facades and balconies, Tampereen teknillinen yliopisto, Julkaisu 1028, Tampere, 117 s.
- Lahdensivu, J., Köliö, A., Pakkala, T. & Koskinen, J. (2013) Betonijulkisivun Kuntotutkimus 2013, by 42, Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki, 163 s.
- Lahdensivu, J., Annala, P. & Pikkuvirta, J. (2016). Eriste- ja levyrappaus 2016, by 57, Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki, 145 s.
- Leivo, V. (toim.) (1998). Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto, Julkaisu 95, Tampere, 157 s.

Lengsfeld, K. (2015). Beurteilung der Langzeitbewährung von ausgeführten Wärmedämmverbundsystemen, Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, IBP-Bericht HTB-06/2015, Fraunhofer, 45 s.

Lutz, H. & Bayer, R. (2010). Dry Mortars, Teoksessa: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ss. 541-580.

Lähdesmäki, K., Laine, K. & Wirtanen, L. (2014). Seinien ja kattojen kivivainepohjaiset pinnoitteet ja tasoitteet, Teoksessa: RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikaalinen suunnittelu ja tutkimukset, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, ss. 297-301.

Lähdesmäki, K. (2014). Lämmöneristeet, Teoksessa: RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikaalinen suunnittelu ja tutkimukset, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, ss. 260-274.

Moretto, H., Schulze, M. & Wagner, G. (2000). Silicones, Teoksessa: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ss. 675-712.

Mäkitalo, M. (2012). Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa, Tampereen teknillinen yliopisto, Diplomityö, 134 s. + liitt. 37 s.

Neuvonen, P. (2006). Kerrostalot 1880-2000: arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen, Rakennustieto Oy, Helsinki, 288 s.

Ohama, Y. (1998). Polymer-based admixtures, Cement and Concrete Composites, vol. 20, no. 2-3, ss. 189-212.

Olenius, A. (2000). Ohutlaasti-eristerappaus julkisivukorjauksessa, Teoksessa: Rakentajain kalenteri 2001, käsikirja ja hakemisto, 85. vuosikerta, Rakennustieto Oy, Helsinki, ss. 743-752.

Olsson, L. (2014). Result from laboratory tests of wind driven rain tightness in more than 100 facades and weather barriers, 10th Nordic Nordic Symposium on Building Physics, Lund, ss. 954-959.

Olsson, L. (2017). Rain intrusion rates at façade details – a summary of results from laboratory studies, Energy Procedia, ss. 387-392.

Orantie, K. (1987). Betonielementtien tuoremaalaus ja -rappaus, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Tutkimuksia 470, Espoo, 49 s. + liitt. 12 s.

Pakkala, T.A., Köliö, A., Lahdensivu, J. & Kiviste, M. (2014). Durability demands related to frost attack for Finnish concrete buildings in changing climate, *Building and Environment*, vol. 82, ss. 27-41.

Pakkala, T.A., Lemberg, A-M., Lahdensivu, J. & Pentti, M. (2016). Climate change effect on wind-driven rain on facades, *Nordic Concrete Research*, No. 54, ss. 31-49.

Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Kalliokoski, P., Kääriäinen, H., Rantamäki, J. (1998). Rakennusmateriaalien kostumistavan ja kuivumisen vaikutus mikrobikasvuston muodostumiseen ja elinkykyyn, Teoksessa: Sisäilmastoseminaari 1998, Sisäilmastoyhdistys ry, Sisäilmastoyhdistysraportti 11, Helsinki, ss. 147-152.

Pentti, M. & Hyypöläinen, T. (1999). Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 94 Tampere, 150 s. + liitt. 40 s.

Pentti, M. & Haukijärvi, M. (2000). Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus, 2. täydennetty painos, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 100, Tampere, 88 s. + liitt. 5 s.

Pentti, M. (2014). Eristerappausrakenteet, Teoksessa: RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, s. 135.

Pigeon, M. & Pleau, R. (1995). Durability of concrete in cold climates. 1. painos, E & FN Spon, Suffolk, 244 s.

Pirinen, J. (2006). Pientalojen mikrobivauriot, Lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat, Tampereen teknillinen yliopisto. Hengityслиitto Heli ry, Hengityслиiton julkaisuja 19/2006, Helsinki, 128 s.

Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J-P., Karlsson, P. & Ruuhela, R. (2012). Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1, Helsinki, 83 s.

Piironen, J., Sistonen, E. & Huovinen, S. (2003). Kiviaines pohjaisten julkisivujen korjausten elinkaari, Teknillisen Korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 125, Espoo, 97 s. + liitt. 39 s.

Riihimäki, M. (2016). Julkisivujen markkinat Suomessa – tuloksia kyselyn 2016 pohjalta, Forecon Oy, diaesitys, Helsinki, 33 s.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Mäkelä, H., Hyvönen, R., Pirinen, P. & Lehtonen, I. (2013). Rakennusfysiikan testivuosien sääaineistot havaitussa ja arvioidussa tulevaisuuden ilmastossa, REFI-B-hankkeen tuloksia, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2013:1, Helsinki, 48 s.

- RT 14-11239 (2016). Rakennusten lämpökuvaus, Rakennustietosäätiö RTS, 7 s.
- RT 18-10922 (2008). Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot, Rakennustietosäätiö RTS, 32 s.
- RT 36-11113 (2013). EPS-eristeet, Lämmöneristystarvikkeet, Rakennustietosäätiö RTS, 4 s.
- SFS-EN ISO 15927-3 (2009). Rakennusten lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Säätiöjen laskenta ja esittäminen. Osa 3: Pystypintojen viistosadeindeksin laskenta tuulen ja sateen tuntitiedoista, Suomen Standardisoimisliitto SFS, 17 s.
- SFS-EN 1991-1-4 + AC +A1 (2011). Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuorma, 2. painos, Suomen Standardisoimisliitto SFS, 157 s. + liitt. 97 s.
- SFS-käsikirja 176 (2007). Muuratut tuotteet, Suomen Standardisoimisliitto SFS, Helsinki, 149 s.
- Siikanen, U. (2014). Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia, Rakennustieto Oy, Tampere, 256 s.
- Silvennoinen, K. & Pyy, H. (1988). Ilman happamoittavien epäpuhtauksien vaikutus rappauksiin, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 568, Espoo, 60 s.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 (2002). Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet, 40 s.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 (2011). Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet, 43 s.
- Suominen, T. (2007). Hyviä kokemuksia saumattomasta julkisivusta, Betoni-lehti, no. 2, ss. 66-69.
- Suvanto, T. (1993). EPS-ohutrappausjärjestelmän soveltuvuus suomalaiselle julkisivuille, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Diplomityö, 115 s. + liitt. 4 s.
- Valtioneuvoston päätös 852/1992 (1992). Valtioneuvoston päätös asbestin ja asbestipitoisten tuotteen valmistuksen, maahantuonnin, myymisen ja käyttöön ottamisen kieltämiseksi, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920852>.
- Valtioneuvoston asetus 798/2015. (2015). Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798>.
- Vesikari, E. (1986). Betonirakenteiden käyttöikä, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Tutkimuksia 417, Espoo, 88 s.

Vesterinen, J. (1991). Isora Oy:n eristerappausjärjestelmän kelpoisuustutkimus, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Diplomityö, 80 s. + liitt. 25 a.

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. & Palolahti, T. (2013). Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 159, Tampere, 354 s. + liitt. 43 s.

Vinha, J. (2014). Rakenteiden lämpö- ja energiatekninen suunnittelu, Teoksessa: RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikkaalinen suunnittelu ja tutkimukset, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, ss. 25-36.

von Konow, T. (1999). Rappauskirja, by 46, Suomen Betoniyhdistys r.y., Helsinki, 90 s.

Väriteollisuusyhdistys ry (2012). Home- ja leväkasvusto rakennusten ulkopinnoilla, Väriteollisuusyhdistys ry, 3 s.

Weber, H., De Grave, I., Röhr, E. & Altstädt, V. (2016). Foamed Plastics, Teoksessa: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ss. 539-570.

Ympäristöhallinto. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa, verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 16.11.2018): http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot_Suomessa%289416%29.

Ympäristöministeriön asetus 848/2017 (2017). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen rakennusten paloturvallisuudesta, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>.

Ximenes, S., de Brito, J., Gaspar, P.L. & Silva, A. (2015). Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls, Materials and Structures, vol. 48, no. 7, ss. 2235-2249.

Zhang, L., Shi, Z., Hu, W., Zhang, X., Zhu, H., Zhao, G. & Wang, Z. (2018). Curing mechanism, heat resistance, and anticorrosion properties of a furan/methyl phenyl silicone coating, Polymers for Advanced Technologies, vol. 29, no. 7, ss. 1913-1921.

Zirkelbach, D., Holm, A. & Künzel H. (2005). Influence of temperature and relative humidity on the durability of mineral wool in ETICS, 10DBCM International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, 8 s.

LIITE 1: VAPAAT VIISTOSADEMÄÄRÄT I_A

Taulukko 1: Vapaat viistosademäärät I_A Helsinki-Vantaalla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi	0 °C -sykli	-5 °C -sykli
10	1	1	2	7	11	19	15	15	13	12	4	1	103	20	6
20	1	1	2	7	11	19	15	16	14	13	5	2	106	21	6
30	1	1	3	8	11	19	16	16	14	14	5	2	111	23	7
40	1	1	3	9	12	19	16	17	15	16	6	2	117	24	7
50	1	2	3	10	12	19	16	17	16	18	8	3	124	27	8
60	2	2	4	11	12	18	17	18	16	20	10	4	134	30	8
70	3	3	5	11	12	18	18	19	17	22	13	5	146	35	9
80	4	3	6	12	12	18	18	20	18	26	17	6	162	41	11
90	6	4	8	13	12	19	19	22	20	29	22	8	181	49	13
100	8	6	9	14	12	19	20	24	22	34	27	11	204	59	15
110	11	7	11	14	12	19	20	26	24	39	34	14	232	72	18
120	15	9	13	15	13	20	21	28	26	44	40	19	264	88	22
130	19	12	15	15	14	20	23	30	29	50	47	24	299	105	27
140	23	14	17	15	15	22	24	33	32	56	54	29	335	123	33
150	27	17	19	16	16	22	25	35	35	61	59	34	366	139	38
160	30	19	21	16	17	24	26	36	37	65	64	38	391	152	42
170	33	21	22	15	18	24	26	37	38	68	66	41	409	162	46
180	35	22	22	15	18	25	26	38	39	69	67	43	417	168	49
190	36	22	22	14	18	25	26	38	38	68	66	44	416	170	51
200	36	22	21	13	18	25	25	37	37	66	63	44	407	168	51
210	35	22	20	12	18	24	25	36	35	62	59	43	390	162	50
220	33	21	18	11	17	24	24	34	33	58	54	40	366	152	48
230	30	19	16	10	16	23	23	32	30	52	47	37	335	138	45
240	27	17	14	9	15	21	22	30	27	46	40	32	300	123	41
250	23	15	12	8	14	21	21	27	23	40	33	28	263	105	36
260	19	12	9	7	13	20	19	25	20	33	26	22	226	87	31
270	15	10	7	6	12	19	18	22	17	27	20	18	191	70	26
280	12	7	5	5	11	18	17	20	14	22	15	13	158	54	20
290	9	5	4	4	10	17	16	18	12	17	11	9	132	41	16
300	6	4	3	4	9	17	15	17	11	14	8	6	113	32	12
310	5	2	2	4	9	17	15	16	11	12	6	4	103	26	10
320	3	2	2	4	9	17	15	15	11	11	5	3	98	22	8
330	2	1	2	4	10	17	15	15	11	11	4	2	96	21	7
340	2	1	2	5	10	18	15	15	12	11	4	2	96	20	7
350	1	1	2	5	10	19	15	15	12	11	4	2	98	20	6
360	1	1	2	6	11	19	15	15	13	12	4	1	100	20	6

Taulukko 2: Vapaat viistosademäärät I_A Jokioisilla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi	0 °C -sykli	-5 °C -sykli
10	1	1	1	6	10	15	17	16	10	8	5	1	91	21	5
20	0	1	1	6	10	16	17	16	11	9	5	1	93	21	5
30	0	1	1	7	10	16	18	16	11	10	5	1	97	22	5
40	0	1	2	7	11	17	18	16	12	11	5	1	101	23	5
50	1	1	2	8	11	17	18	17	12	13	6	1	106	24	5
60	1	1	2	8	11	17	19	17	13	15	7	1	112	26	6
70	1	1	3	8	11	17	19	17	14	17	9	2	119	29	6
80	2	2	4	9	11	17	19	18	15	18	10	3	127	32	7
90	2	2	4	9	11	17	19	19	16	21	12	4	137	36	8
100	3	3	5	10	12	18	19	20	17	23	15	5	149	41	10
110	5	4	6	10	12	19	19	21	19	26	18	7	166	48	12
120	7	5	7	11	12	20	20	23	20	29	22	10	186	57	15
130	9	7	9	11	13	22	21	25	23	33	26	13	210	67	18
140	11	8	10	12	14	24	22	27	25	36	29	16	232	76	21
150	13	10	11	12	15	25	22	29	26	39	32	19	253	86	24
160	15	12	12	12	15	27	22	30	28	41	34	22	271	94	27
170	17	13	13	12	16	28	22	31	29	43	36	24	285	102	30
180	19	14	14	12	16	29	22	32	30	44	37	26	294	107	32
190	20	15	14	12	16	30	22	32	30	44	37	27	298	110	34
200	20	15	14	11	16	30	21	32	30	43	36	28	296	111	35
210	21	15	13	10	16	29	20	31	29	42	34	28	288	110	35
220	20	15	12	10	15	28	20	29	28	40	32	27	276	107	34
230	19	14	11	9	15	26	19	28	26	37	29	25	258	101	33
240	18	13	10	8	14	25	18	26	24	34	26	23	238	94	31
250	16	11	9	7	13	22	17	24	22	30	23	20	214	85	28
260	14	10	7	6	12	20	16	21	20	26	19	17	189	75	25
270	12	8	6	6	10	18	15	19	18	22	16	14	163	64	22
280	10	6	5	5	9	16	14	17	16	18	13	11	139	54	19
290	8	5	3	4	8	15	14	16	14	15	11	8	120	45	15
300	6	3	3	4	8	14	14	15	12	12	9	6	106	38	13
310	4	3	2	4	8	14	14	15	11	11	8	4	98	33	11
320	3	2	2	4	8	13	15	15	11	9	7	3	92	29	9
330	2	2	1	4	8	13	15	15	10	9	6	2	88	26	8
340	2	1	1	5	8	14	16	15	10	8	5	2	87	23	7
350	1	1	1	5	9	14	16	15	10	8	5	1	87	22	6
360	1	1	1	5	9	15	17	15	10	8	5	1	89	21	6

Taulukko 3: Vapaat viistosademäärät I_A Jyväskylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi	0 °C -sykli	-5 °C -sykli
10	0	1	1	5	10	18	20	16	10	10	2	0	93	25	6
20	0	1	1	5	10	18	18	15	10	10	2	0	89	24	5
30	0	1	1	5	9	17	17	14	9	10	2	0	86	23	4
40	0	1	1	5	9	16	16	14	10	11	2	0	84	23	4
50	0	1	1	5	9	15	15	14	10	11	2	0	84	23	4
60	0	1	2	5	9	14	14	14	11	13	3	1	87	24	4
70	1	1	2	5	9	14	14	15	12	14	5	1	93	27	5
80	1	1	3	6	9	14	13	17	14	16	7	2	103	31	6
90	2	2	4	7	10	15	13	18	16	18	10	3	117	36	7
100	3	2	5	7	11	17	13	20	18	21	13	4	133	42	9
110	3	3	6	8	11	18	14	22	20	23	15	5	148	48	11
120	4	4	7	9	12	19	14	23	21	25	18	7	163	53	14
130	5	5	7	9	13	20	14	25	23	27	20	8	175	58	16
140	5	5	8	9	13	21	14	25	24	28	21	9	184	63	18
150	6	6	8	9	14	22	15	26	24	29	22	10	190	66	19
160	6	6	8	9	14	22	14	25	24	29	23	11	192	68	20
170	7	6	8	9	14	22	14	25	24	28	23	11	191	68	21
180	7	6	8	9	13	22	14	24	23	27	22	11	186	67	21
190	7	6	8	8	13	21	14	22	22	25	21	11	178	65	21
200	7	6	7	7	12	20	14	21	20	23	20	11	168	62	21
210	6	6	7	6	11	19	14	19	18	21	18	10	155	58	20
220	6	6	6	6	10	18	14	18	17	19	15	9	143	54	19
230	5	5	5	5	10	17	14	16	15	17	13	8	130	50	18
240	5	4	4	5	9	15	14	16	14	15	11	7	119	45	17
250	4	4	3	4	9	15	15	15	13	13	9	6	110	41	16
260	4	3	3	4	8	15	16	15	12	12	8	5	104	38	14
270	3	3	3	4	8	16	17	15	12	11	7	4	102	36	14
280	3	2	2	4	9	16	18	16	12	11	6	3	103	35	13
290	2	2	2	5	9	17	19	16	12	11	6	3	104	34	12
300	2	2	2	5	9	18	20	17	12	11	5	2	105	33	11
310	2	2	2	5	10	19	21	18	12	11	5	2	106	33	11
320	1	1	2	5	10	19	22	18	11	11	4	2	106	32	10
330	1	1	1	5	10	20	22	18	11	11	4	1	105	31	9
340	1	1	1	5	10	20	22	17	11	11	3	1	103	29	8
350	1	1	1	5	10	19	21	17	11	10	3	1	100	28	7
360	1	1	1	5	10	19	20	16	10	10	2	1	97	26	6

Taulukko 4: Vapaat viistosademäärät I_A Sodankylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi	0 °C -sykli	-5 °C -sykli
10	0	0	0	2	10	17	19	16	8	7	0	0	79	25	6
20	0	0	0	2	10	18	19	16	7	7	0	0	80	25	5
30	0	0	0	2	10	18	19	16	7	7	0	0	81	24	5
40	0	0	0	2	11	17	19	16	7	7	1	0	81	23	5
50	0	0	0	2	11	17	18	16	8	8	1	0	81	23	5
60	0	0	0	2	11	17	18	16	8	8	1	0	82	23	5
70	0	0	1	3	11	17	17	16	9	9	2	0	84	23	6
80	0	0	1	3	12	17	16	16	10	10	2	0	87	25	6
90	0	0	1	4	12	17	15	16	12	11	3	1	91	27	7
100	0	0	1	4	12	17	14	17	13	12	4	1	95	29	8
110	0	0	1	5	12	17	14	17	15	13	5	1	101	33	9
120	1	1	2	5	12	17	14	17	16	15	5	2	108	37	11
130	1	1	2	5	12	18	14	18	18	16	6	3	114	41	13
140	1	1	3	6	12	18	14	18	19	17	7	3	119	45	15
150	1	1	3	6	12	18	14	18	20	18	8	4	123	48	16
160	1	1	3	6	11	18	14	18	21	18	8	4	124	50	18
170	2	1	4	6	11	17	13	17	21	18	8	5	123	52	19
180	2	1	4	6	10	17	13	16	21	18	8	5	121	52	19
190	2	1	4	6	9	16	12	16	20	17	8	5	115	51	19
200	2	1	4	5	9	15	11	15	19	15	8	5	109	49	19
210	2	1	4	5	8	14	11	13	18	14	7	5	101	46	19
220	2	1	3	4	7	12	10	12	16	12	6	5	92	43	18
230	2	1	3	4	7	11	9	11	14	11	5	4	83	39	16
240	1	1	3	3	6	10	8	11	13	9	5	4	74	35	15
250	1	1	2	3	6	10	8	10	12	8	4	3	67	32	13
260	1	1	2	3	5	9	7	9	11	7	3	3	61	28	11
270	1	1	2	2	5	9	8	9	10	6	2	2	57	26	10
280	1	0	1	2	5	10	8	10	9	5	2	1	54	24	8
290	1	0	1	2	6	10	9	10	8	5	1	1	55	23	7
300	0	0	1	2	6	11	11	11	8	5	1	1	57	23	7
310	0	0	1	2	7	12	12	12	8	5	1	0	61	24	6
320	0	0	1	2	7	14	14	13	8	5	1	0	65	24	6
330	0	0	1	2	8	15	15	14	8	6	0	0	69	25	6
340	0	0	0	2	8	16	17	15	8	6	0	0	73	25	6
350	0	0	0	2	9	17	18	15	8	6	0	0	76	26	6
360	0	0	0	2	9	17	19	16	8	6	0	0	78	26	6

LIITE 2: JÄÄTYMIS-SULAMISSYKLIT

Taulukko 1: 0 °C -jäätymis-sulamissyklit Helsinki-Vantaalla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	2,6	1,9	4,4	5,6	1,2	0	0	0	0,4	3,5	4,7	3,2	27,4
20	2,2	1,8	4,0	5,3	1,2	0	0	0	0,5	3,4	4,6	2,5	25,5
30	2,2	1,8	4,1	5,0	1,2	0	0	0	0,5	3,3	4,3	2,0	24,5
40	2,2	1,7	4,7	5,2	1,1	0	0	0	0,5	3,4	4,1	2,0	24,8
50	2,3	1,7	4,5	5,2	1,1	0	0	0	0,4	3,2	3,9	2,0	24,3
60	2,3	1,8	5,1	5,2	1,1	0	0	0	0,3	3,0	3,9	2,2	25,0
70	2,5	1,8	5,2	5,0	1,1	0	0	0	0,3	3,1	3,9	2,5	25,4
80	2,9	2,0	5,6	4,8	0,9	0	0	0	0,4	2,9	3,9	2,8	26,4
90	3,4	2,2	5,7	4,9	1,0	0	0	0	0,4	2,9	4,0	3,5	28,0
100	3,7	2,5	6,4	5,0	1,0	0	0	0	0,4	2,9	4,0	4,1	30,0
110	4,2	3,2	6,8	5,5	0,9	0	0	0	0,4	3,1	4,5	4,7	33,4
120	4,7	3,8	7,0	5,9	0,9	0	0	0	0,3	3,2	4,6	5,1	35,5
130	5,1	4,1	7,5	6,2	1,0	0	0	0	0,3	3,3	4,9	5,6	37,9
140	5,4	4,2	7,6	6,0	0,9	0	0	0	0,3	3,4	5,1	5,9	38,9
150	5,8	4,3	7,5	6,1	0,9	0	0	0	0,3	3,4	5,3	6,1	39,7
160	5,9	4,4	7,5	6,0	1,0	0	0	0	0,3	3,4	5,5	6,4	40,4
170	6,0	4,5	7,4	5,9	1,0	0	0	0	0,3	3,5	5,6	6,4	40,5
180	6,0	4,6	7,6	5,9	1,0	0	0	0	0,3	3,4	5,8	6,5	41,0
190	6,1	4,8	7,5	6,1	1,0	0	0	0	0,4	3,4	5,8	6,5	41,6
200	6,1	4,9	7,4	6,2	1,0	0	0	0	0,5	3,4	5,9	6,5	41,9
210	6,1	5,0	7,7	6,3	1,0	0	0	0	0,5	3,4	5,8	6,5	42,2
220	6,1	5,0	7,7	6,4	1,0	0	0	0	0,5	3,5	5,8	6,5	42,4
230	6,0	5,0	7,5	6,3	0,9	0	0	0	0,5	3,6	5,5	6,5	41,8
240	5,9	4,9	7,2	6,8	1,0	0	0	0	0,6	4,0	5,3	6,3	42,0
250	5,9	4,9	7,4	6,7	1,0	0	0	0	0,6	3,8	5,4	6,4	42,1
260	6,0	4,9	7,5	6,6	1,0	0	0	0	0,5	3,7	5,4	6,4	42,0
270	5,7	4,9	7,0	6,8	1,0	0	0	0	0,6	4,1	5,3	6,0	41,3
280	5,8	4,7	6,6	6,7	1,1	0	0	0	0,6	4,1	5,4	5,8	40,8
290	5,7	4,6	6,3	6,5	1,1	0	0	0	0,6	4,1	5,4	5,7	40,0
300	5,5	4,3	5,6	6,2	1,2	0	0	0	0,6	4,2	5,3	5,5	38,4
310	5,3	4,2	5,7	5,9	1,2	0	0	0	0,6	4,2	5,3	5,3	37,7
320	5,2	4,1	5,4	6,0	1,2	0	0	0	0,6	4,2	5,3	4,8	36,8
330	5,0	3,6	5,1	6,1	1,2	0	0	0	0,6	4,1	5,1	4,4	35,2
340	4,4	3,0	4,6	6,0	1,2	0	0	0	0,6	4,0	5,1	4,1	33,1
350	4,0	2,7	4,5	6,0	1,2	0	0	0	0,6	3,7	5,0	3,6	31,4
360	3,4	2,3	4,5	5,9	1,2	0	0	0	0,6	3,6	4,8	3,5	29,8
Sade 3 pv ennen jäätymistä	6,2	5,1	8,7	8,0	1,3	0	0	0	0,6	4,3	6,4	6,6	47,2
Kaikki	7,7	6,2	8,7	13,0	2,0	0	0	0	0,9	5,7	8,0	7,5	64,4

Taulukko 2: -5 °C -jäätymis-sulamissyklit Helsinki-Vantaalla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	1,0	0,7	1,0	0,5	0,0	0	0	0	0	0,4	1,3	1,3	6,4
20	0,9	0,7	1,0	0,5	0,0	0	0	0	0	0,4	1,3	1,1	5,9
30	0,8	0,7	1,1	0,4	0,0	0	0	0	0	0,4	1,3	0,8	5,5
40	0,8	0,6	1,0	0,4	0,0	0	0	0	0	0,4	1,3	0,8	5,3
50	0,7	0,5	1,1	0,3	0,0	0	0	0	0	0,4	1,2	0,7	4,9
60	0,7	0,5	1,1	0,3	0,0	0	0	0	0	0,3	1,2	0,8	5,0
70	0,8	0,5	1,1	0,3	0,0	0	0	0	0	0,4	1,2	1,0	5,4
80	1,0	0,6	1,2	0,3	0,0	0	0	0	0	0,4	1,1	1,1	5,6
90	1,1	0,6	1,2	0,4	0,0	0	0	0	0	0,4	1,1	1,3	6,1
100	1,2	0,8	1,2	0,4	0,0	0	0	0	0	0,4	1,1	1,6	6,7
110	1,3	1,0	1,3	0,4	0	0	0	0	0	0,4	1,3	1,7	7,4
120	1,5	1,2	1,2	0,5	0	0	0	0	0	0,4	1,3	1,9	8,1
130	1,7	1,3	1,4	0,5	0	0	0	0	0	0,4	1,4	2,1	8,8
140	1,7	1,5	1,4	0,5	0	0	0	0	0	0,4	1,3	2,2	9,1
150	1,9	1,5	1,4	0,5	0	0	0	0	0	0,4	1,4	2,4	9,7
160	2,0	1,6	1,4	0,6	0	0	0	0	0	0,4	1,4	2,6	10,0
170	2,0	1,6	1,4	0,5	0,0	0	0	0	0	0,5	1,4	2,6	10,1
180	2,0	1,7	1,5	0,6	0,0	0	0	0	0	0,5	1,5	2,7	10,6
190	2,1	1,7	1,4	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,5	2,7	10,6
200	2,2	1,9	1,4	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,5	2,7	10,8
210	2,2	1,9	1,5	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,7	10,8
220	2,1	1,9	1,5	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,6	10,8
230	2,1	1,9	1,5	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,6	10,8
240	2,1	2,0	1,4	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,5	10,6
250	2,1	1,9	1,5	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,6	10,6
260	2,1	1,9	1,5	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,4	1,4	2,6	10,7
270	2,1	2,0	1,4	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,4	2,5	10,5
280	2,0	1,9	1,3	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,4	2,4	10,3
290	2,0	1,9	1,3	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,4	2,4	10,1
300	2,0	1,7	1,2	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,4	2,4	9,9
310	1,9	1,7	1,3	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,5	2,3	9,9
320	1,7	1,6	1,3	0,7	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,6	2,0	9,4
330	1,7	1,5	1,2	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,6	1,9	9,1
340	1,5	1,3	1,1	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,6	1,8	8,5
350	1,3	1,1	1,1	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,5	1,6	7,7
360	1,2	0,9	1,2	0,6	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,4	1,5	7,4
Sade 3 pv ennen jäätymistä	2,2	2,0	1,9	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,8	2,8	12,0
Kaikki	2,9	2,6	1,9	1,8	0,0	0	0	0	0	0,9	2,4	3,2	17,7

Taulukko 3: 0 °C -jäätymis-sulamissyklit Jokioisilla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	2,6	2,1	3,8	6,2	2,6	0,0	0	0	1,4	4,1	4,1	2,8	29,8
20	2,3	1,7	4,0	6,1	2,6	0,0	0	0	1,3	4,2	4,1	2,5	28,8
30	1,9	1,4	4,0	5,8	2,5	0,0	0	0	1,3	4,2	4,1	2,3	27,5
40	1,8	1,4	4,0	5,7	2,6	0,0	0	0	1,3	4,4	4,2	1,9	27,2
50	1,5	1,4	3,7	5,6	2,6	0,0	0	0	1,3	4,4	4,0	1,9	26,4
60	1,6	1,2	3,8	5,6	2,5	0,0	0	0	1,0	4,0	3,8	2,1	25,6
70	2,0	1,2	4,2	5,4	2,3	0,0	0	0	0,9	3,7	3,8	2,4	25,9
80	2,2	1,4	4,5	5,3	2,1	0,0	0	0	0,8	3,4	3,6	2,5	25,8
90	2,5	1,6	5,0	5,0	2,2	0,0	0	0	0,8	3,3	3,9	3,1	27,5
100	2,9	1,9	5,3	5,0	2,1	0,0	0	0	0,8	3,2	4,2	3,5	28,8
110	3,4	2,6	6,0	5,6	2,1	0,0	0	0	0,8	3,4	4,6	4,1	32,7
120	3,9	3,1	6,4	5,7	2,1	0,0	0	0	0,8	3,6	4,8	4,7	35,1
130	4,5	3,6	7,3	6,2	2,1	0,0	0	0	0,8	4,0	4,8	5,2	38,5
140	5,0	3,7	7,4	6,4	2,1	0,0	0	0	0,9	4,0	5,0	5,3	40,0
150	5,3	3,8	7,4	6,2	2,0	0,0	0	0	1,1	4,5	5,4	5,6	41,3
160	5,5	3,9	7,8	6,4	2,0	0,0	0	0	1,2	4,4	5,7	5,9	42,8
170	5,7	4,2	7,8	6,6	1,8	0,0	0	0	1,2	4,4	5,9	6,0	43,8
180	5,9	4,4	8,2	6,7	2,0	0,0	0	0	1,3	4,4	6,1	6,1	45,2
190	6,0	4,4	8,2	6,9	2,0	0,0	0	0	1,3	4,5	6,1	6,2	45,5
200	6,1	4,4	8,1	6,9	2,0	0,0	0	0	1,3	4,4	6,1	6,2	45,5
210	6,1	4,4	7,9	6,9	2,1	0,0	0	0	1,2	4,2	6,0	6,1	45,0
220	6,1	4,4	7,9	7,2	2,1	0,0	0	0	1,2	4,3	5,8	6,1	45,2
230	6,1	4,4	7,6	7,0	2,3	0,0	0	0	1,2	4,2	5,8	6,1	44,8
240	6,0	4,4	7,3	7,5	2,3	0,0	0	0	1,3	4,6	5,5	6,1	45,0
250	5,9	4,5	7,3	7,4	2,3	0,0	0	0	1,3	4,5	5,6	6,2	45,1
260	6,0	4,5	7,4	7,3	2,3	0,0	0	0	1,2	4,5	5,8	6,2	45,2
270	5,9	4,4	7,3	7,7	2,4	0,0	0	0	1,3	5,0	5,5	6,0	45,5
280	5,9	4,4	7,1	7,5	2,6	0,0	0	0	1,3	4,9	5,2	5,7	44,6
290	5,8	4,4	6,6	7,4	2,7	0,0	0	0	1,4	5,1	5,4	5,4	44,2
300	5,5	4,1	6,1	7,1	2,7	0,0	0	0	1,3	5,1	5,2	5,3	42,5
310	5,5	3,9	5,7	6,7	2,6	0,0	0	0	1,3	5,1	5,2	5,2	41,3
320	5,2	3,7	5,7	6,8	2,6	0,0	0	0	1,4	5,0	5,2	5,1	40,8
330	4,8	3,4	5,1	6,7	2,5	0,0	0	0	1,4	4,9	4,8	4,3	37,8
340	4,3	3,1	4,6	6,8	2,5	0,0	0	0	1,3	4,9	4,5	3,9	36,1
350	3,6	2,8	4,0	6,3	2,6	0,0	0	0	1,4	4,6	4,4	3,5	33,2
360	3,0	2,8	3,9	6,2	2,6	0,0	0	0	1,4	4,6	4,2	3,0	31,8
Sade 3 pv ennen jäätymistä	6,2	4,7	8,8	8,7	2,9	0,0	0	0	1,5	5,4	6,4	6,3	50,9
Kaikki	7,4	5,6	8,8	15,0	4,6	0,0	0	0	2,5	6,8	7,8	7,3	71,2

Taulukko 4: -5 °C -jäätymis-sulamissyklit Jokioisilla.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmiokuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	1,2	0,9	1,3	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,3	1,5	7,9
20	1,1	0,8	1,3	0,9	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,3	1,4	7,4
30	0,9	0,6	1,2	0,9	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,4	1,2	6,8
40	0,9	0,6	1,2	0,8	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,4	0,9	6,3
50	0,8	0,5	1,2	0,8	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,4	0,8	6,0
60	0,9	0,4	1,1	0,8	0,1	0	0	0	0	0,5	1,0	0,8	5,7
70	0,9	0,5	1,1	0,7	0,1	0	0	0	0	0,5	1,0	0,9	5,8
80	1,0	0,4	1,2	0,8	0,1	0	0	0	0	0,4	0,9	1,0	5,8
90	1,0	0,6	1,3	0,7	0,1	0	0	0	0	0,4	1,0	1,1	6,2
100	1,2	0,8	1,3	0,7	0,1	0	0	0	0	0,4	0,9	1,3	6,6
110	1,4	1,0	1,4	0,7	0,1	0	0	0	0	0,4	1,1	1,5	7,5
120	1,6	1,2	1,5	0,8	0,1	0	0	0	0	0,4	1,1	1,7	8,4
130	1,7	1,3	1,7	0,8	0,1	0	0	0	0	0,4	1,2	2,0	9,1
140	1,9	1,3	1,7	0,8	0,1	0	0	0	0	0,5	1,2	2,1	9,5
150	2,1	1,4	1,6	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,6	1,3	2,2	10,1
160	2,2	1,5	1,7	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,5	2,4	10,7
170	2,2	1,6	1,7	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,6	1,6	2,5	11,2
180	2,3	1,7	1,9	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,6	1,7	2,6	11,7
190	2,4	1,7	2,0	0,9	0,0	0	0	0	0,0	0,6	1,7	2,7	12,0
200	2,4	1,8	2,0	0,9	0,0	0	0	0	0,0	0,6	1,7	2,7	12,2
210	2,3	1,8	1,9	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,7	2,7	11,8
220	2,3	1,8	1,9	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,7	2,7	11,8
230	2,4	1,8	1,9	0,8	0,0	0	0	0	0,0	0,5	1,6	2,7	11,8
240	2,3	1,8	1,9	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,7	11,9
250	2,3	1,8	1,9	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,6	2,7	11,9
260	2,4	1,8	1,9	0,9	0,1	0	0	0	0,0	0,5	1,6	2,7	11,9
270	2,3	1,8	1,9	1,1	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,6	11,9
280	2,2	1,8	1,8	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,4	2,6	11,6
290	2,2	1,8	1,8	1,1	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,5	11,6
300	2,1	1,7	1,7	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,5	11,3
310	2,1	1,7	1,7	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,4	11,1
320	2,0	1,6	1,6	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,3	10,7
330	1,9	1,4	1,5	0,9	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	2,1	10,1
340	1,8	1,4	1,4	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,5	1,9	9,8
350	1,6	1,3	1,2	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,4	1,7	9,0
360	1,5	1,2	1,2	1,0	0,1	0	0	0	0,0	0,6	1,4	1,6	8,7
Sade 3 pv ennen jäätymistä	2,5	1,9	2,3	1,2	0,1	0	0	0	0,0	0,7	1,9	2,9	13,4
Kaikki	3,0	2,5	2,3	2,7	0,1	0	0	0	0,1	1,2	2,4	3,3	19,9

Taulukko 5: 0 °C -jäätymis-sulamissyklit Jyväskylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	1,5	1,3	2,6	6,2	4,1	0,1	0	0,2	2,0	5,4	2,9	1,4	27,8
20	1,4	1,0	2,5	6,1	4,0	0,1	0	0,2	1,9	5,3	2,7	1,4	26,8
30	1,2	1,1	2,5	6,0	3,9	0,1	0	0,2	1,9	5,2	2,5	1,1	25,5
40	1,2	1,0	2,6	6,3	3,8	0,1	0	0,2	1,7	4,9	2,6	0,9	25,5
50	1,0	1,0	2,8	6,7	3,7	0,1	0	0,2	1,7	4,3	2,8	1,0	25,2
60	1,1	1,0	3,4	7,0	3,7	0,1	0	0,2	1,7	4,2	3,0	1,2	26,7
70	1,5	1,2	4,1	7,2	3,7	0,1	0	0,2	1,3	4,3	3,1	1,6	28,3
80	1,9	1,6	4,5	7,6	3,6	0,1	0	0,2	1,3	4,6	3,3	2,0	30,6
90	2,3	2,3	5,3	7,5	3,4	0,1	0	0,2	1,3	4,7	3,8	2,3	33,2
100	2,7	2,8	5,9	7,8	3,2	0,1	0	0,2	1,4	4,6	4,2	2,8	35,6
110	3,0	2,9	6,0	7,9	3,1	0,1	0	0,2	1,6	4,7	4,5	3,4	37,5
120	3,2	3,1	6,1	7,9	2,9	0,1	0	0,2	1,6	5,0	4,7	3,6	38,3
130	3,3	3,1	6,1	8,0	2,8	0,1	0	0,2	1,5	5,0	4,7	4,0	38,9
140	3,3	3,2	6,2	8,1	2,7	0,1	0	0,2	1,5	4,9	4,8	4,2	39,2
150	3,4	3,2	6,1	8,2	2,7	0,1	0	0,2	1,5	5,0	4,8	4,3	39,5
160	3,5	3,5	6,2	8,1	2,7	0,1	0	0,2	1,7	5,0	5,0	4,3	40,3
170	3,7	3,7	6,2	8,2	2,6	0,1	0	0,1	1,6	5,3	5,1	4,3	40,8
180	3,8	3,7	6,2	8,4	2,5	0,0	0	0,1	1,6	5,3	5,2	4,3	41,2
190	3,8	3,8	6,2	8,5	2,6	0	0	0,1	1,7	5,6	5,3	4,4	42,0
200	4,0	3,9	6,1	8,5	2,8	0	0	0,1	1,8	5,4	5,3	4,5	42,5
210	4,1	3,9	6,1	8,6	2,9	0,1	0	0,2	1,9	5,6	5,2	4,6	43,2
220	4,1	3,9	6,0	8,7	3,0	0,1	0	0,2	1,9	5,7	5,1	4,6	43,5
230	4,1	3,9	6,0	8,6	3,1	0,1	0	0,2	2,1	5,7	5,1	4,6	43,4
240	3,8	3,8	5,3	8,3	3,7	0,1	0	0,3	2,2	5,9	4,7	4,2	42,4
250	3,9	3,9	5,7	8,4	3,5	0,1	0	0,3	2,2	5,8	4,9	4,4	43,1
260	4,0	4,0	5,9	8,5	3,3	0,1	0	0,2	2,1	5,7	5,0	4,5	43,4
270	3,7	3,5	5,2	8,2	3,8	0,1	0	0,3	2,2	6,0	4,5	3,8	41,4
280	3,7	3,2	4,9	8,0	3,9	0,1	0	0,2	2,2	6,2	4,5	3,6	40,5
290	3,6	3,1	4,6	7,8	3,9	0,1	0	0,2	2,3	6,2	4,4	3,4	39,6
300	3,3	3,0	4,4	7,7	3,9	0,1	0	0,2	2,3	6,2	4,3	3,5	38,8
310	3,2	3,0	4,2	7,5	4,1	0,1	0	0,2	2,2	6,3	4,2	3,4	38,5
320	3,0	2,9	3,9	7,4	4,0	0,1	0	0,2	2,2	6,2	4,0	3,2	37,3
330	2,9	2,4	3,7	7,1	4,2	0,1	0	0,2	2,2	6,3	3,7	2,8	35,6
340	2,7	2,3	3,2	6,9	4,2	0,1	0	0,2	2,2	6,2	3,7	2,5	34,2
350	2,1	2,0	2,8	6,6	4,2	0,1	0	0,2	2,1	5,8	3,4	2,1	31,5
360	1,8	1,6	2,6	6,3	4,2	0,1	0	0,2	2,1	5,7	3,1	1,8	29,5
Sade 3 pv ennen jäätymistä	4,2	4,1	6,8	10,4	4,5	0,1	0	0,3	2,4	6,7	5,4	4,6	49,4
Kaikki	5,2	5,0	6,8	17,6	6,3	0,2	0	0,3	3,8	8,5	6,4	5,6	71,3

Taulukko 6: -5 °C -jäätymis-sulamissyklit Jyväskylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	0,8	0,8	1,3	1,8	0,4	0	0	0	0,1	1,1	1,3	1,0	8,6
20	0,8	0,6	1,2	1,9	0,4	0	0	0	0,1	1,1	1,1	0,8	8,0
30	0,6	0,6	1,1	1,9	0,4	0	0	0	0,1	1,1	1,0	0,7	7,4
40	0,6	0,5	1,1	1,8	0,4	0	0	0	0,1	0,9	1,0	0,7	7,1
50	0,5	0,4	1,1	1,8	0,4	0	0	0	0,0	0,8	0,8	0,6	6,4
60	0,4	0,4	1,2	2,0	0,3	0	0	0	0	0,6	0,8	0,7	6,4
70	0,5	0,4	1,2	1,8	0,3	0	0	0	0	0,6	0,7	0,9	6,4
80	0,6	0,5	1,3	1,8	0,3	0	0	0	0	0,6	0,7	0,9	6,7
90	0,7	0,8	1,5	1,7	0,3	0	0	0	0	0,6	0,9	1,0	7,5
100	1,0	1,1	1,6	1,8	0,3	0	0	0	0	0,6	1,1	1,1	8,6
110	1,2	1,2	1,7	1,8	0,2	0	0	0	0	0,6	1,1	1,5	9,4
120	1,3	1,2	1,7	1,9	0,2	0	0	0	0	0,8	1,2	1,7	9,9
130	1,4	1,2	1,7	1,8	0,2	0	0	0	0	0,8	1,2	1,8	10,1
140	1,4	1,2	1,7	1,8	0,2	0	0	0	0	0,8	1,3	1,9	10,3
150	1,5	1,3	1,8	1,7	0,1	0	0	0	0	0,9	1,3	2,0	10,5
160	1,6	1,5	1,8	1,7	0,0	0	0	0	0	0,9	1,3	2,0	10,9
170	1,7	1,5	1,8	1,9	0,0	0	0	0	0	1,0	1,5	2,0	11,4
180	1,8	1,5	1,8	2,0	0,0	0	0	0	0	1,0	1,6	2,0	11,8
190	1,9	1,6	1,8	2,0	0,0	0	0	0	0,0	1,0	1,6	2,1	12,1
200	1,9	1,7	1,8	1,9	0,1	0	0	0	0,1	1,0	1,6	2,2	12,2
210	2,0	1,7	1,8	2,0	0,1	0	0	0	0,1	1,1	1,6	2,2	12,6
220	2,0	1,7	1,8	2,1	0,1	0	0	0	0,1	1,1	1,5	2,2	12,5
230	2,0	1,7	1,8	2,1	0,1	0	0	0	0,1	1,0	1,5	2,2	12,5
240	1,9	1,7	1,7	2,3	0,2	0	0	0	0,1	1,1	1,7	2,0	12,6
250	1,9	1,7	1,8	2,3	0,1	0	0	0	0,1	1,1	1,7	2,2	12,9
260	1,9	1,8	1,8	2,2	0,1	0	0	0	0,1	1,0	1,6	2,2	12,7
270	1,9	1,6	1,6	2,3	0,2	0	0	0	0,1	1,1	1,7	2,0	12,4
280	1,8	1,5	1,6	2,3	0,2	0	0	0	0,1	1,2	1,6	1,9	12,2
290	1,7	1,4	1,6	2,3	0,2	0	0	0	0,1	1,2	1,6	1,8	11,9
300	1,7	1,3	1,5	2,3	0,2	0	0	0	0,1	1,2	1,6	1,8	11,6
310	1,7	1,3	1,5	2,2	0,4	0	0	0	0,1	1,3	1,6	1,8	11,8
320	1,5	1,3	1,4	2,2	0,4	0	0	0	0,1	1,3	1,5	1,7	11,4
330	1,5	1,1	1,4	2,1	0,4	0	0	0	0,1	1,3	1,4	1,5	10,6
340	1,4	0,9	1,2	2,0	0,4	0	0	0	0,1	1,2	1,4	1,5	10,1
350	1,2	0,9	1,3	1,9	0,4	0	0	0	0,1	1,2	1,3	1,4	9,6
360	1,0	0,8	1,2	1,9	0,4	0	0	0	0,1	1,2	1,3	1,3	9,2
Sade 3 pv ennen jäätymistä	2,0	1,8	2,0	2,8	0,4	0	0	0	0,1	1,3	1,8	2,3	14,4
Kaikki	2,9	2,5	2,0	5,3	0,4	0	0	0	0,1	1,8	2,4	3,0	23,7

Taulukko 7: 0 °C -jäätymis-sulamissyklit Sodankylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	0,3	0,1	1,1	5,5	7,3	0,6	0	1,1	5,1	5,6	1,4	0,3	28,4
20	0,2	0,2	1,0	5,4	7,5	0,6	0	1,1	5,0	5,1	1,4	0,3	27,8
30	0,3	0,2	0,9	5,3	7,5	0,6	0	1,0	4,7	5,1	1,3	0,3	27,3
40	0,3	0,2	1,1	5,7	7,5	0,6	0	1,0	4,9	5,4	1,5	0,3	28,5
50	0,3	0,2	1,3	5,6	7,5	0,6	0	1,0	4,7	5,2	1,4	0,2	28,1
60	0,3	0,2	1,4	5,9	7,4	0,6	0	1,0	4,4	5,3	1,4	0,4	28,2
70	0,4	0,3	1,7	6,3	7,3	0,6	0	1,0	4,5	5,4	1,9	0,6	29,9
80	0,5	0,3	1,9	6,2	7,3	0,5	0	0,9	4,4	5,7	2,2	0,7	30,6
90	0,7	0,3	2,1	6,3	7,2	0,4	0	0,9	4,4	6,2	2,6	1,0	32,1
100	0,7	0,4	2,3	6,5	6,9	0,4	0	0,8	4,5	6,5	3,1	1,2	33,4
110	0,8	0,6	2,8	6,8	6,7	0,3	0	0,8	4,6	6,5	3,4	1,5	34,8
120	0,9	0,7	3,2	7,1	6,3	0,2	0	0,7	4,6	6,6	3,7	1,8	35,9
130	1,0	0,8	3,6	7,6	6,2	0,2	0	0,7	4,7	6,8	3,8	1,9	37,4
140	1,0	0,9	3,7	7,8	6,1	0,2	0	0,7	4,6	6,7	3,8	2,0	37,6
150	1,2	1,0	3,9	8,2	5,6	0,2	0	0,8	4,6	6,9	3,9	2,1	38,2
160	1,3	1,1	4,0	8,2	5,3	0,2	0,0	0,7	4,7	6,9	4,0	2,1	38,4
170	1,3	1,1	4,0	8,4	5,2	0,2	0,0	0,7	4,7	7,2	4,0	2,1	38,9
180	1,4	1,1	4,1	8,6	5,2	0,3	0,0	0,7	4,8	7,1	4,0	2,2	39,5
190	1,4	1,1	4,1	8,5	5,3	0,3	0,0	0,7	4,9	7,1	4,0	2,3	39,8
200	1,5	1,1	4,3	8,4	5,5	0,3	0,0	0,7	5,0	7,1	4,0	2,3	40,3
210	1,6	1,1	4,2	8,5	5,6	0,4	0,0	0,7	5,4	7,2	4,0	2,3	41,1
220	1,6	1,1	4,1	8,7	5,8	0,4	0,0	0,7	5,4	7,1	4,0	2,3	41,3
230	1,6	1,1	4,2	8,7	5,7	0,4	0,0	0,8	5,4	6,9	3,8	2,3	40,9
240	1,5	1,1	3,9	8,0	6,4	0,6	0,0	0,9	5,7	7,1	3,5	2,2	40,9
250	1,5	1,1	4,0	8,3	6,1	0,5	0,0	0,8	5,6	6,9	3,6	2,3	40,8
260	1,5	1,1	4,0	8,7	5,8	0,5	0,0	0,8	5,5	6,9	3,7	2,3	41,0
270	1,5	1,1	3,9	8,0	6,8	0,6	0,0	1,0	5,7	7,2	3,4	2,2	41,4
280	1,4	1,0	3,7	7,5	6,9	0,6	0,0	1,0	5,8	7,2	3,3	2,1	40,5
290	1,2	1,0	3,3	7,3	7,1	0,6	0,0	1,0	6,0	7,1	3,1	1,8	39,5
300	1,1	0,8	2,9	7,1	7,1	0,6	0,0	1,1	6,0	6,8	2,5	1,4	37,5
310	1,0	0,7	2,7	6,7	7,2	0,6	0,0	1,1	6,0	6,8	2,4	1,2	36,5
320	1,0	0,6	2,0	6,4	7,2	0,6	0,0	1,1	5,7	6,3	1,9	1,0	33,8
330	0,7	0,6	1,7	6,1	7,6	0,6	0,0	1,0	5,7	5,9	1,6	0,7	32,3
340	0,6	0,5	1,5	5,9	7,4	0,6	0,0	1,0	5,6	5,8	1,6	0,5	31,1
350	0,5	0,4	1,5	5,9	7,4	0,6	0,0	1,0	5,6	5,6	1,4	0,4	30,3
360	0,4	0,3	1,4	5,9	7,3	0,6	0,0	1,1	5,5	5,4	1,5	0,3	29,9
Sade 3 pv ennen jäätymistä	1,6	1,2	4,4	9,8	8,6	0,6	0,0	1,1	6,5	8,2	4,1	2,3	48,5
Kaikki	2,2	2,3	4,4	16,9	11,9	0,8	0,0	1,4	8,5	10,2	5,0	3,4	70,4

Taulukko 8: -5 °C -jäätymis-sulamissyklit Sodankylässä.

Tuulen suunta [°]	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Vuosi
10	0,3	0,3	0,8	2,0	0,8	0	0	0	0,3	1,5	0,7	0,3	7,0
20	0,2	0,3	0,7	1,9	0,8	0	0	0	0,3	1,4	0,7	0,3	6,6
30	0,2	0,3	0,6	1,9	0,8	0	0	0	0,3	1,4	0,7	0,3	6,4
40	0,2	0,2	0,7	2,0	0,8	0	0	0	0,3	1,5	0,8	0,3	6,8
50	0,2	0,1	0,7	1,9	0,8	0	0	0	0,3	1,3	0,7	0,3	6,3
60	0,2	0,1	0,7	2,0	0,7	0	0	0	0,3	1,2	0,8	0,4	6,4
70	0,3	0,2	0,8	2,1	0,7	0	0	0	0,3	1,3	0,9	0,5	7,0
80	0,3	0,1	0,9	2,1	0,8	0	0	0	0,2	1,4	1,1	0,5	7,5
90	0,4	0,2	1,0	1,9	0,8	0	0	0	0,3	1,5	1,3	0,7	8,0
100	0,4	0,2	1,0	2,0	0,6	0	0	0	0,3	1,6	1,5	0,8	8,4
110	0,5	0,4	1,2	2,1	0,6	0	0	0	0,3	1,5	1,7	1,0	9,2
120	0,6	0,5	1,4	2,2	0,6	0	0	0	0,3	1,5	1,8	1,3	10,2
130	0,6	0,6	1,7	2,4	0,6	0	0	0	0,3	1,6	1,9	1,5	11,0
140	0,7	0,7	1,7	2,4	0,5	0	0	0	0,3	1,5	1,9	1,5	11,2
150	0,7	0,7	1,8	2,5	0,5	0	0	0	0,3	1,6	1,9	1,6	11,6
160	0,8	0,8	1,8	2,5	0,5	0	0	0	0,3	1,6	2,0	1,6	11,8
170	0,9	0,8	1,9	2,5	0,5	0	0	0	0,3	1,7	2,0	1,6	12,1
180	1,0	0,8	1,9	2,7	0,5	0	0	0	0,3	1,8	2,0	1,7	12,7
190	1,0	0,8	1,9	2,7	0,5	0	0	0	0,3	1,7	2,0	1,7	12,7
200	1,1	0,8	2,1	2,8	0,5	0	0	0	0,3	1,7	2,0	1,7	13,0
210	1,1	0,9	2,0	2,9	0,5	0	0	0	0,3	1,7	2,0	1,7	13,1
220	1,1	0,9	1,9	3,0	0,5	0	0	0	0,3	1,7	2,0	1,7	13,1
230	1,1	0,9	2,0	3,0	0,5	0	0	0	0,3	1,8	1,9	1,7	13,1
240	1,0	0,8	1,9	2,7	0,5	0	0	0	0,3	1,8	1,8	1,6	12,5
250	1,1	0,9	1,9	2,8	0,5	0	0	0	0,3	1,8	1,8	1,6	12,7
260	1,1	0,9	1,9	3,0	0,5	0	0	0	0,3	1,8	1,8	1,7	13,0
270	1,0	0,8	1,9	2,8	0,6	0	0	0	0,3	1,9	1,8	1,6	12,6
280	1,0	0,8	1,9	2,6	0,7	0	0	0	0,3	1,9	1,7	1,4	12,3
290	0,9	0,7	1,8	2,6	0,7	0	0	0	0,4	1,9	1,6	1,3	11,8
300	0,8	0,6	1,7	2,6	0,7	0	0	0	0,4	1,9	1,3	1,0	11,0
310	0,8	0,5	1,6	2,5	0,7	0	0	0	0,4	1,9	1,3	0,9	10,8
320	0,8	0,5	1,3	2,5	0,7	0	0	0	0,4	1,8	1,1	0,7	9,8
330	0,6	0,5	1,2	2,4	0,8	0	0	0	0,4	1,6	1,0	0,5	9,0
340	0,5	0,5	1,1	2,3	0,8	0	0	0	0,4	1,6	0,9	0,4	8,4
350	0,5	0,4	1,1	2,3	0,8	0	0	0	0,4	1,6	0,9	0,3	8,1
360	0,5	0,3	1,1	2,2	0,8	0	0	0	0,4	1,5	0,9	0,3	8,0
Sade 3 pv ennen jäätymistä	1,1	0,9	2,2	3,3	0,8	0	0	0	0,4	2,1	2,1	1,7	14,5
Kaikki	1,5	1,5	2,2	7,3	1,2	0	0	0,0	0,6	2,8	2,6	2,3	24,0

LIITE 3: ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMIEN VAURIOT JA ESTEETTISET HAITAT

Taulukko 1: Eristerappausjärjestelmien vauriot ja esteettiset haitat sekä niihin vaikuttavat rasitustekijät, materiaaliominaisuudet ja rakenteen ominaisuudet sekä niistä aiheutuvat seuraamukset järjestelmien toimintaan.

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Halkeilu	<p>Pakkovoimat: Rappauksen muodonmuutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kutistuma - Kosteusliikkeet (kuivuminen) - Lämpöliikkeet - Painuminen <p>Rappausalustan muodonmuutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lämpöliikkeet - EPS:n kutistuminen <p>Alusrakenteen muodonmuutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakennuksen rungon liikkeet - Perustusten painuminen <p>Muiden osien muodonmuutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Listojen ja profiilien lämpöliikkeet 	<p>Laasti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vetolujuus - Murtovenymä - Muodonmuutosominaisuudet - Kutistumisominaisuudet - Lämpölaajenemiskerroin - Orgaanisten sideaineiden lasittumislämpötila <p>Rappausverkko:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vetokestävyys - Murtovenymä - Muodonmuutosominaisuudet <p>Rappausalusta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mittapysyvyys - Muodonmuutosominaisuudet - Lämpölaajenemiskerroin <p>Muut osat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lämpölaajenemiskerroin 	<p>Molemmat eristerappausjärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen paksuus - Rappausverkon sijainti - Rappausverkkojen määrä - Rappausverkkojen limittyminen keskenään - Jännityspiikkejä aiheuttavat rakenteet <p>Paksurappaus-eristejärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liikuntasaumajako <p>Ohutrappaus-eristejärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappausalustan epäjatkuvuuskohdat - Listojen jatkoskohdat 	<p>Kosteustekninen toiminta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy (tiivit pinnoitteet) - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy - Kosteusrasitus aiheuttaa muita vauriota <p>Esteettinen haitta</p>

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Pinnoitteen halkeilu	Pakkovoimat Rappauksen muodonmuutokset: - Kutistuma - Kosteusliikkeet (kuivuminen) - Lämpöliikkeet	Pinnoite: - Murtovenymä - Muodonmuutosominaisuudet - Lasittumislämpötila - Kutistumisominaisuudet Laasti: - Vetolujuus - Murtovenymä - Muodonmuutosominaisuudet - Kutistumisominaisuudet - Lämpölaajenemiskerroin	- Pinnoitekerroksen paksuus	Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy Esteettinen haitta
Lommahdus	Pakkovoimat (puristus): - Lämpöliikkeet	Laasti: - Muodonmuutosominaisuudet - Poissonin luku	- Rappauksen paksuus - Epäjatkuvuuskohdat	Esteettiset haitat: - Rappauksen halkeilu - Pinnoitteen irtoaminen Rappauksen irtoaminen alustasta Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy (tiivit pinnoitteet) - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy - Kosteusrasitus aiheuttaa muita vaurioita

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Plastinen halkeilu	Työnaikaiset olosuhteet: <ul style="list-style-type: none"> - Lämpötila - Ilman suhteellinen kosteus - Auringon paiste - Tuulisuus 	Laasti: Kutistumisominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - Sideaine - Runkoainejakauma - Lisäaineet 	<ul style="list-style-type: none"> - Jälkihoito - Varjoisuus - Alustan kosteuspitoisuus 	Kosteustekninen toiminta: <ul style="list-style-type: none"> - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy (tiivit pinnoitteet) - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy - Kosteusrasitus aiheuttaa muita vauriota
Pakkasrapautuminen	Pakkasrasitus: <ul style="list-style-type: none"> - Jäätymis-sulamissyklit Kosteusrasitus: <ul style="list-style-type: none"> - Vedellä kyllästymisaste 	Lastit: <ul style="list-style-type: none"> - Kriittinen vedellä kyllästymisaste - Vetolujuus - Murtovenymä - Muodonmuutosominaisuudet - Ilmahuokosrakenne: <ul style="list-style-type: none"> o Huokosten koko o Huokosjakauma o Huokosmäärä - Sideaine Pinnoite: <ul style="list-style-type: none"> - Vesihöyrynläpäisevyys - Kapillaarinen veden imukyky Rappausalusta: <ul style="list-style-type: none"> - Kapillaarinen veden imukyky 	<ul style="list-style-type: none"> - Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pintavesien kulkeutuminen rappaukseen - Halkeilu - Pinnoitteen harvarakeisuus - Pohjusteaineen puuttuminen - Rappausalustan vettä keräävät rakenteet 	Rappauksen lujuuden heikkeneminen Halkeilu Tartunnan heikkeneminen Turvallisuus riski (pitkälle edennyt) Esteettiset haitat: <ul style="list-style-type: none"> - Pinnoitteen ja rappauskerrosten irtoaminen

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Varhaisvaiheen pakkasrapautuminen	Pakkasrasitus: - Sitoutumattoman laastin jäätyminen		- Laastin kosteuspitoisuus - Laastin sitoutumisaste	Rappauksen puutteellinen loppulujuus
Kemiallinen rapautuminen	Ilman epäpuhtaudet	Laasti: - Sideaine		Rappauksen lujuuden heikkeneminen
Suolojen muodostumisen aiheuttama rapautuminen	Kosteusrasitus	Laasti: - Sideaine - Alkalisuolat	- Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pintavesien kulkeutuminen rappaukseen - Halkeilu	Rappauksen lujuuden heikkeneminen
Pinnoitteen tai maalin tartunnan vaurioituminen	Kosteusrasitus Pakkasrasitus Lämpötilan vaihtelut	Pinnoite: - Vesihöyrynläpäisevyys - Kutistumisominaisuudet - Lämpölaajenemiskerroin - Turpoamisominaisuudet Laasti: - Lämpölaajenemiskerroin - Alkalisuolat	- Pinnoitteen tartunta rappaukseen - Pinnoitteen paksuus - Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pintavesien kulkeutuminen rappaukseen - Halkeilu	Esteettiset haitat: - Pinnoitteen tai maalin kupliminen - Pinnoitteen tai maalin irtoaminen Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy (tiivii pinnoitteet)

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Pinnoitteen tai maalin puutteellinen tartunta rappaukseen	Pinnan epäpuhtaudet	Alusta: <ul style="list-style-type: none"> - Kriittinen pintajännitys Pinnoite tai maali: <ul style="list-style-type: none"> - Pintajännitys - Viskositeetti - Runkoaineiden ja muiden ainesosien koko 	<ul style="list-style-type: none"> - Alustan karheus - Alustan kosteus 	
Rappauskerrosten välisen tartunnan heikkeneminen	Kosteusrasitus Pakkasrasitus Lämpötilan vaihtelut	Laasti: <ul style="list-style-type: none"> - Lämpölaajenemiskerroin 	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauskerrosten välinen tartunta 	Esteettiset haitat: <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen irtoaminen Kosteustekninen toiminta: <p>Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy</p>
Rappauskerrosten puutteellinen tartunta keskenään	Epäpuhtaudet <ul style="list-style-type: none"> - Epäpuhtaudet edellisen rappauskerroksen pinnalla 		Ohutrappaus-eristejärjestelmät: <ul style="list-style-type: none"> - Alempi verkotuslaastikerros on päässyt sitoutumaan tai kuivumaan ennen toisen rappauskerroksen levitystä Paksurappaus-eristejärjestelmät: <ul style="list-style-type: none"> - Alustan karheus - Alustan kosteus - Alustan erottuminen 	Esteettiset haitat: <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen irtoaminen Kosteustekninen toiminta: <ul style="list-style-type: none"> - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy Turvallisuusriski

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Rappauksen tartunnan heikkeneminen rappausalustaan (Ohutrappaus-eristejärjestelmät)	Pakkovoimat: Rappauksen muodonmuutokset: - Kutistuma - Kosteusliikkeet (kuivuminen) - Lämpöliikkeet Alustan muodonmuutokset: - Lämpöliikkeet - EPS:n kutistuminen	Laasti: - Kutistumisominaisuudet - Lämpölaajenemiskerroin Rappausalusta: - Mittapysyvyys - Lämpölaajenemiskerroin	- Rappauksen tartunta rappausalustaan - Rappauksen lommahdus	Rappauksen irtoaminen - ”Vetoketjumurto” Turvallisuusriski Esteettinen haitta: - Rappauksen irtoaminen
Rappauksen puutteellinen tartunta rappausalustaan (Ohutrappaus-eristejärjestelmät)	UV-säteily Epäpuhtaudet - Alustan epäpuhtaudet	Rappausalusta: - Kapillaarinen vedenimukyky	- Ruiskutus vs. käsin levitys - Mineraalivillan hionta - Lämmöneristeiden vaurioituminen ennen rappauksen levittämistä	Rappauksen irtoaminen - ”Vetoketjumurto” Turvallisuusriski Esteettinen haitta: - Rappauksen irtoaminen
Rappausalustan ja alusrakenteen puutteellinen tartunta (Ohutrappaus-eristejärjestelmät)	Epäpuhtaudet	Rappausalusta: - Kapillaarinen vedenimukyky	- Ruiskutus vs. käsin levitys - Mekaaniset kiinnikkeet	Turvallisuusriski Rappauksen ja rappausalustan irtoaminen - ”Vetoketjumurto”
Pinnoitteiden ja maalien liituuntuminen	UV-säteily	Pinnoite: - Sideaine - Pigmentit		Esteettiset haitat: - Pinnan kiilto vähenee - Likaantuminen nopeutuu

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Pinnoitteiden ja maalien haurastuminen	UV-säteily Lämpö Kosteus Muu sähkömagneettinen säteily Mekaaninen rasitus Kemialliset yhdisteet Mikrobit	Pinnoite: - Sideaine		Esteettiset haitat: - Pinnan halkeilu - Pinnan hilseily - Pinnan lohkeilu - Pinnan kuoriutuminen
Julkisivujen likaantuminen	Epäpuhtaudet - Katupöly - Siitepöly Kosteusrasitus	Pinnoite tai pintalaasti: - Vedenimukyky - Runkoaine (karheus) - Sideaine - Pigmentit	- Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pinnoitteen liituuntuminen	Esteettinen haitta
Kasvillisuus ja leväkasvustot julkisivupinnoilla	Kosteus Lämpö Orgaaniset epäpuhtaudet	Pinnoite: - Vedenimukyky - Sideaine - Pigmentit	- Ilmansuunta - Rappauksen paksuus - Varjoisuus - Rakennuksen lähellä oleva kasvillisuus - Pinnoitteen paksuus - Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Halkeamat	Esteettinen haitta

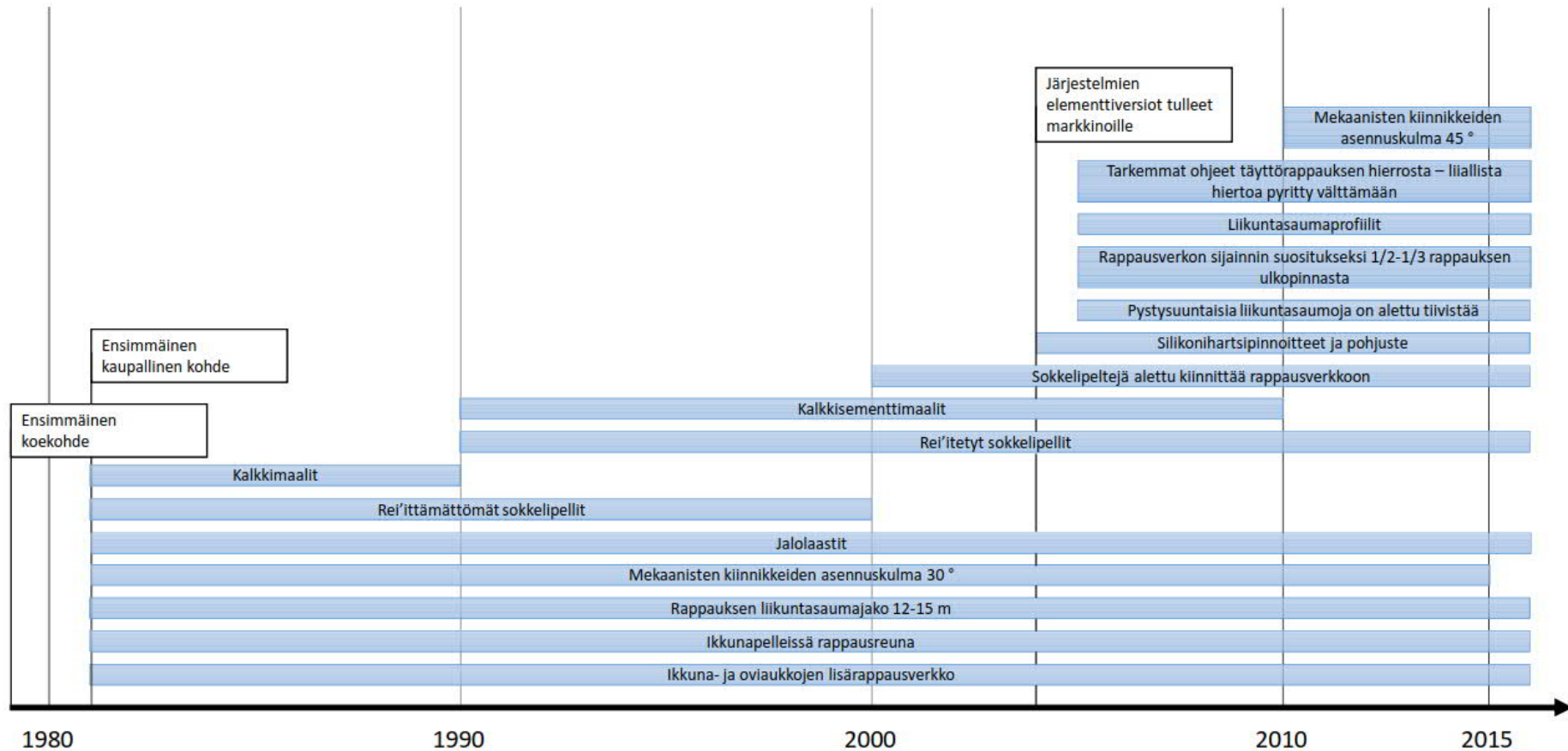
Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Eläinten ja ihmisten aiheuttamat vauriot:				
Mekaanisen rasituksen aiheuttama rappausten halkeilu, läpileikkautuminen ja lohkeilu	Mekaaninen rasitus: - Iskut - Törmäykset	Laasti: - Vetolujuus - Leikkauslujuus Rappausverkko: - Vetokestävyys Rappausalusta: - Jäykkyys	- Rappausten paksuus - Rappausverkkojen määrä	Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy (tiivit pinnoitteet) - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy - Kosteusrasitus aiheuttaa muita vauriota Esteettinen haitta
Mekaanisen rasituksen aiheuttama pinnoitteen tai pintarappausten kuluminen	Mekaaninen rasitus: - Hankaus	Laasti: - Lujuus Pinnoite: - Lujuus		Esteettinen haitta Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen imeytyminen rappaukseen lisääntyy
Graffitit				Esteettinen haitta Poistamisesta aiheutuva mekaaninen rasitus

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Saumausten ja tiivistysten vauriot				
Elastisten saumausten adheesio-murto	Pakkovoimat: Rappauksen liikkeet - Kutistuma - Kosteusliikkeet - Lämpöliikkeet - Painuminen	Saumausmassa: - Elastiset ominaisuudet - Sideaine Pinnoite: - Sideaine	- Huonosti tehdyt valmistelut - Saumauksen paksuus - Sauman leveys - Saumausmassan vanheneminen	Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy
Elastisten saumausten koheesio-murto	Pakkovoimat: Rappauksen liikkeet - Kutistuma - Kosteusliikkeet - Lämpöliikkeet - Painuminen	Saumausmassa: - Vetolujuus	- Saumauksen paksuus/muoto - Sauman leveys - Saumausmassan vanheneminen - Saumausmassan ilmakuplat	Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy
Rappauksen murtuminen	Pakkovoimat: Rappauksen liikkeet - Kutistuma - Kosteusliikkeet - Lämpöliikkeet - Painuminen	Saumausmassa: - Elastiset ominaisuudet Laasti: - Vetolujuus	- Saumauksen paksuus - Sauman leveys - Saumausmassan vanheneminen	Kosteustekninen toiminta: - Viistosateen tunkeutuminen rappausalustaan lisääntyy
Saumausmassojen vanheneminen	UV-säteily Lämpö Kemialliset yhdisteet	Saumausmassa: - Sideaine		Esteettinen haitta - Saumausmassojen liituntuminen - Väriin muuttuminen Elastisten ominaisuuksien heikkeneminen

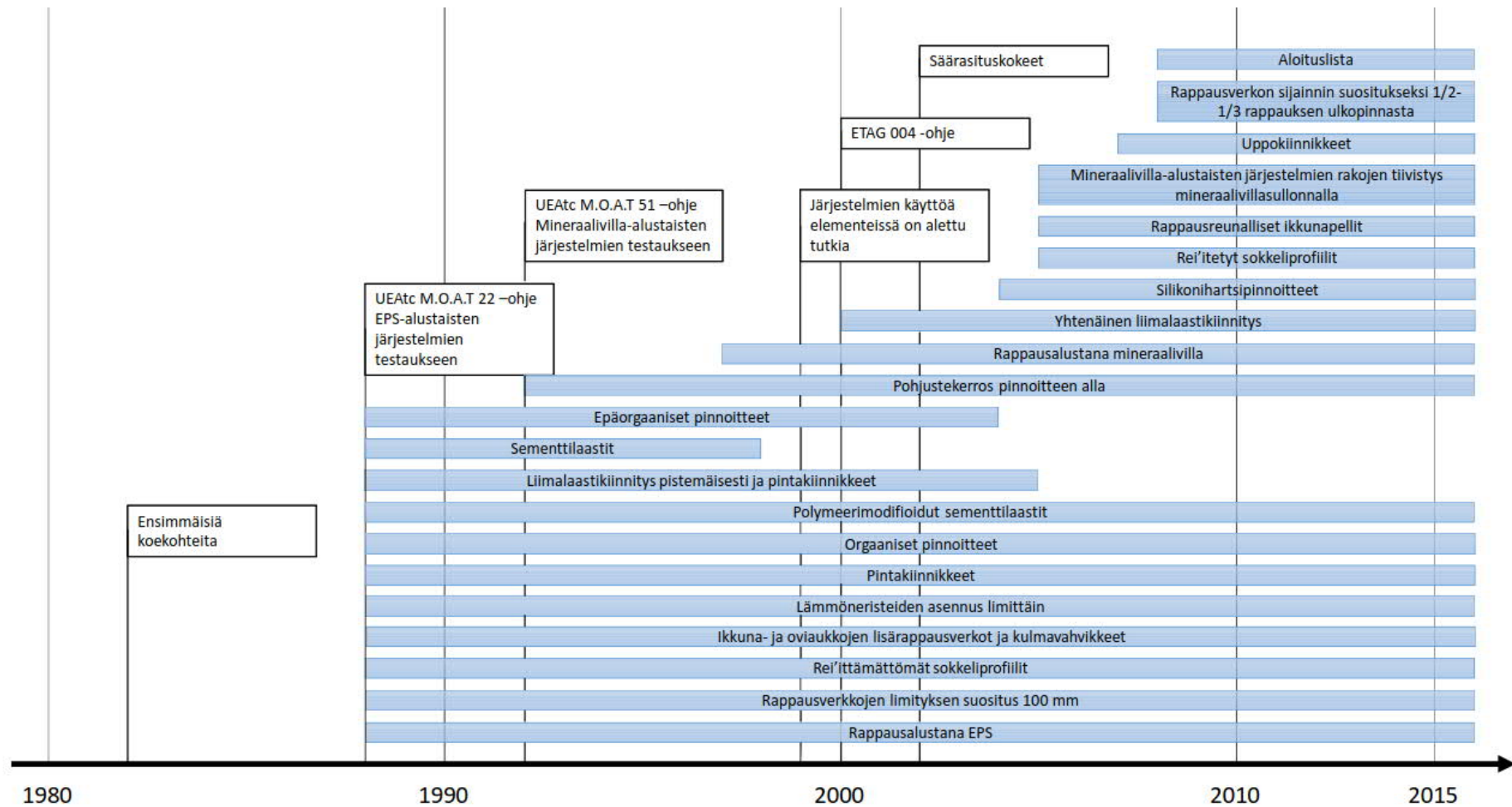
Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Kosteus- ja mikro- bivauriot	Kosteusrasitus Lämpö	- Homehtumisherkyys	Rakenteen kosteustekninen toiminta: <ul style="list-style-type: none"> - Liitosten ja pellitysten toimivuus ja toteutus - Halkeilu - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pinnoitteen harvarakeisuus ja paksuus - Pohjusteaineen käyttö - Lämmöneristeen tyyppi ja paksuus 	Sisäilmaongelmat
Härme	Kosteusrasitus Epäpuhtaudet <ul style="list-style-type: none"> - Hiilidioksidi Työnaikaiset olosuhteet <ul style="list-style-type: none"> - Ilman suhteellinen kosteus - Lämpötila - Alustan kosteuspitoisuus 	Laasti: <ul style="list-style-type: none"> - Sideaine (kalkkihärme) - Suolat (alkalihärme) 	<ul style="list-style-type: none"> - Liitosten ja pellitysten toimivuuspuuteet - Sadevesijärjestelmien vuodot - Pintavesien kulkeutuminen rappaukseen 	Esteettinen haitta Kosteustekninen toiminta: <ul style="list-style-type: none"> - Kertoo rappauksen sisältämästä kosteudesta
Kirjavuus	Työnaikaiset olosuhteet: <ul style="list-style-type: none"> - Ilman suhteellinen kosteus - Lämpötila - Alustan kosteuspitoisuus 		<ul style="list-style-type: none"> - Pinnoitteen tai pintarappauksen värisävy - Pintarappauksen työstö 	Esteettinen haitta

Vaurio	Vaikuttavat tekijät			Seuraamukset järjestelmän toimintaan
	Rasitustekijät	Materiaaliominaisuudet	Rakenteen ominaisuudet	
Lämmöneristeiden vanheneminen	Mekaaninen rasitus Fysikaalinen rasitus <ul style="list-style-type: none"> - Lämpö - Kosteus Kemiallinen rasitus <ul style="list-style-type: none"> - Sähkömagneettinen säteily - Lämpö - Happi - Kemialliset aineet - Vesi 			Lämmöneristeiden mekaanisten ominaisuuksien heikkeneminen Rappauksen painuminen Rappauksen kiinnittyminen alusrakenteeseen heikkenee Turvallisuusriski
Lämmöneristeiden lämmönvastuksen heikkeneminen	Kosteus			Rakennuksen energiakulutuksen kasvaminen
Rappausverkon ruostuminen (Paksurappaus-eristejärjestelmät)	Kosteus Kloridit		<ul style="list-style-type: none"> - Rappausverkon korroosiosuojaus - Rappausverkko järjestelmän mukainen 	
Rappausverkon vanheneminen (Ohutrappaus-eristejärjestelmät)	Mekaaninen rasitus Fysikaalinen rasitus Kemiallinen rasitus		<ul style="list-style-type: none"> - Rappausverkon alkalinkestävyys - Rappausverkko järjestelmän mukainen 	Rappausverkon vetokestävyyden heikkeneminen <ul style="list-style-type: none"> - Rappausverkon katkeaminen - Halkeamaleveyksien kasvu
Mekaanisten kiinnikkeiden vaurioituminen			<ul style="list-style-type: none"> - Mekaaniset kiinnikkeet järjestelmän mukaisia 	Rappauksen kiinnittyminen alusrakenteeseen heikkenee Turvallisuusriski

LIITE 4: JÄRJESTELMISSÄ TAPAHTUNEET MUUTOKSET



Kuva 1: Paksurappaus-eristejärjestelmissä tapahtuneita muutoksia.



Kuva 2: Ohutrappaus-eristejärjestelmissä tapahtuneita muutoksia.

LIITE 5: KUNTOTUTKIMUKSESSA LIITOSTEN TOIMINNASSA HUOMIOON OTETTAVAT ASIAT

Taulukko 1: Ohutrappaus-eristejärjestelmien liitosten toiminnassa huomioon otettavat asiat.

Liitos	Tarkastettavat asiat
Vesipelti	<p>Vesipelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappausreuna <ul style="list-style-type: none"> o Olemassaolo o Rappausreunan ylälaippa kallistettu pois päin lämmöneristeestä o Ylälaipan tiivis liittyminen verkotuslaastiin (tiivistysnauhan olemassaolo) o Rappausreunattomissa vesipelleissä vesipellin reuna nostettu riittävästi ylös, pellin ja rappauksen väli tiivistetty sekä rappaus on pinnoitettu pellin alla - Vesipellin sisänurkkaan ei muodostu koloa, josta vesi pääsee tunkeutumaan lämmöneristeeseen - Vesipellin ja karmin väli raoton - Kallistus riittävä ($\geq 1:3$) - Kiinnitys kunnossa - Ulottuma julkisivupinnasta riittävä (≥ 30 mm) - Vesipellin ulkoreunan taitos riittävä (~ 30 mm) - Vesipellin ulkoreunan taitoksessa tippanokka <p>Verkotuslaasti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jatkuu vesipellin alla alusrakenteeseen asti - Irti alusrakenteesta - Vesipellin ja verkotuslaastin väli tiivistetty - Aukon nurkkien halkeilu
Ikkunapieli	<ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen ja karmin liitoksen tiiveys - Rappauksen halkeilu pielen molemmin puolin <p>Ikkunaprofiili</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Kiinnittyminen karmiin/tiiveys <p>Yläpieli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden ohjautuminen pois ikkunakarmin päältä (suunnitelmien tarkastelu, todentaminen vaatii rakenneavauksen)

Liitos	Tarkastettavat asiat
Räystä	<p>Myrskypelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Estää veden tunkeutumisen julkisivun yläreunan yli <p>Räystäspelti (tasakatot)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pellin alareuna tulee riittävästi julkisivun yläpinnan alapuolelle (~ 70 mm) - Räystäspellin ja julkisivupinnan välissä riittävä rako yläpohjan tuulettumista varten (~ 30 mm) - Pellin alareunassa vedenheittäjä, jossa tippanokka <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jatkuu lämmöneristeen päälle - Myrskypellin ja rappauksen väli tiivistetty
Sokkeli	<p>Sokkeliprofiili</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vedenpoistoreiät - Liitospalojen käyttö jatkoskohdissa <p>Rappausverkko</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jatkuminen rappauksen alareunaan asti <p>Aloitustila</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo <p>Sokkeli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden tunkeutuminen sokkelirakenteeseen estetty (bitumi-kaista tai vedenojaukspelti) - Vesi ohjataan pois sokkelin päältä - Käytettäessä vedenojaukspeltiä pellin kallistus riittävä ja pelti ei muodosta tasoa rappauksen eteen - Sokkelin maanpinnan yläpuolinen korkeus riittävä (≥ 300 mm) <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen halkeilu ja lohkeilu <ul style="list-style-type: none"> o Sokkeliprofiilin laipan yläreuna (~ 20 mm rappauksen alareunasta) o Sokkeliprofiilien jatkoskohdat - Pakkasrapautuminen - Pinnoitteen irtoaminen

Liitos	Tarkastettavat asiat
Läpiviennit ja kiinnitykset	Rappaus <ul style="list-style-type: none"> - Rappaus irti läpiviennistä - Rappauksen halkeilu Saumaus <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Sauman tiiveys - Elastisten saumausmassojen kiinnittyminen rappaukseen - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Materiaalin ominaisuudet Läpiviennit ja kiinnikkeet <ul style="list-style-type: none"> - Kallistuvat pois päin julkisivusta - Vedenohjauspellit suurimpien läpivientien ja kiinnitysten kohdalla
Liittymät muihin rakenteisiin <ul style="list-style-type: none"> - Parvekepielet - Muut julkisivurakenteet - Parvekelaatan alapinta 	Rappaus <ul style="list-style-type: none"> - Rappaus irti rakenteesta - Rappauksen halkeilu Päätölista <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo Saumaus <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Sauman tiiveys - Elastisten saumausmassojen kiinnittyminen rappaukseen - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Materiaalin ominaisuudet
Parvekelaatan yläpinta	Sokkeliprofiili <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Vedenpoistoreiät - Liitospalojen käyttö jatkoskohdissa Aloitustila <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo Rappaus <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen halkeilu ja lohkeilu <ul style="list-style-type: none"> o Sokkeliprofiilin laipan yläreuna (~ 20 mm rappauksen alareunasta) o Sokkeliprofiilien jatkoskohdat - Pinnoitteen irtoaminen - Veden tunkeutuminen lämmöneristekerrokseen estetty - Rappausalustan kosteus ohjataan pois lämmöneristekerroksesta

Liitos	Tarkastettavat asiat
Kattopeltien tai -kermien ylösnostot	<p>Sokkeliprofiili</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Vedenpoistoreiät - Liitospalojen käyttö jatkoskohdissa <p>Ylösnoston taustarakenne</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden tunkeutuminen rakenteeseen estetty (bitumikaista tai vedenohjauspelti) - Vesi ohjataan pois rakenteen päältä - Käytettäessä vedenohjauspeltiä pellin kallistus riittävä ja pelti ei muodosta tasoa rappauksen eteen - Kattorakenteen tuulettuminen mahdollistettu - Ylösnostossa myrskypelti - Ylösnoston korkeus riittävä (≥ 300 mm) <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen halkeilu ja lohkeilu <ul style="list-style-type: none"> o Sokkeliprofiilin laipan yläreuna (~ 20 mm rappauksen alareunasta) o Sokkeliprofiilien jatkoskohdat - Pakkasrapautuminen - Pinnoitteen irtoaminen
Rungon liikuntasaumamat	<ul style="list-style-type: none"> - Liikuntasaumojen olemassaolo <p>Liikuntasaumaprofiili</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sauman tiiveys - Profiilin vanheneminen <p>Elastinen saumausmassa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sauman tiiveys - Elastisten saumausmassojen kiinnittyminen rappaukseen - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Materiaalin ominaisuudet - Rappauksen halkeilu <p>Saumanauha</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sauman tiiveys - Materiaalin ominaisuudet

Taulukko 2: Paksurappaus-eristejärjestelmien liitosten toiminnassa huomioon otettavat asiat.

Liitos	Tarkastettavat asiat
Ikkunan vesipelti	<p>Vesipelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappausreunalliset vesipellit <ul style="list-style-type: none"> o Rappausreunan ylälaippa kallistettu pois päin lämmöneristeestä o Ylälaipan tiivis liittyminen rappaukseen (tiivistysnauhan olemassaolo) - Jälkiasennetut vesipellit <ul style="list-style-type: none"> o Vesipellin sivun taitos riittävän korkea o Vesipelti sivun taitos viety rappauksen ulkopinnan taakse o Pielen rappaus muodostaa tippanokan o Vesipellin taitoksen ja rappauksen välissä saumausmassa - Ikkunapielipelti ja vesipelti <ul style="list-style-type: none"> o Vesipellin taitos viety pielipellin taakse - Vesipellin sisänurkkaan ei muodostu koloa, josta vesi pääsee tunkeutumaan lämmöneristeeseen - Vesipellin ja karmin väli raoton - Kallistus riittävä ($\geq 1:3$) - Kiinnitys kunnossa - Ulottuma julkisivupinnasta riittävä (≥ 30 mm) - Vesipellin ulkoreunan taitos riittävä (~ 30 mm) - Vesipellin ulkoreunan taitoksessa tippanokka <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jatkuu vesipellin alla alusrakenteeseen asti - Rappaus irti alusrakenteesta - Vesipellin ja rappauksen väli tiivistetty - Aukon nurkkien halkeilu
Ikkunapielet	<p>Rapattu ikkunapieli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen ja karmin liitoksen tiiveys ja liikevara - Rappauksen halkeilu pielen molemmin puolin <p>Ikkunapielipelleillä toteutettu ikkunapieli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pellin liittyminen karmiin tiivis - Peltien liikkuminen toistensa suhteen sallittu - Rappaukseen liittyvän pellin ja rappauksen välissä ei ole rakoja - Rappauksen halkeilu pielipellin ja rappauksen liitoskohdassa <p>Ikkuna-aukon yläreuna</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden ohjautuminen pois ikkunakarmin päältä (suunnitelmien tarkastelu, todentaminen vaatii rakenneavauksen)

Liitos	Tarkastettavat asiat
Räystäs	<p>Myrskypelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Estää veden tunkeutumisen julkisivun yläreunan yli <p>Räystäspelti (tasakatot)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pellin alareuna tulee riittävästi julkisivun yläpinnan alapuolelle (70 mm) - Räystäspellin ja julkisivupinnan välissä riittävä rako tuulettamista varten (~ 30 mm) - Pellin alareunassa vedenheittäjä, jossa tippanokka <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jatkuu lämmöneristeen päälle - Myrskypellin ja rappauksen väli tiivistetty
Sokkeliliitos	<p>Sokkelipelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kiinnitys (alusrakenne vs. rappausverkko) - Vedenpoistoreiät (porattu ylhäältä alaspäin tai porauksen aiheuttama pellin reunojen nousu otettu huomioon) - Ei korroosiovaurioita <p>Sokkeli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden tunkeutuminen sokkelirakenteeseen estetty (bitumi-kaista tai vedenojauspelti) - Vesi ohjataan pois sokkelin päältä - Käytettäessä vedenojauspeltiä pellin kallistus riittävä ja pelti ei muodosta tasoa rappauksen eteen - Sokkelin maanpinnan yläpuolinen korkeus riittävä (≥ 300 mm) <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen ja sokkelin välissä riittävä liikevara - Rappauksen painuminen ei ole estetty - Rappauksen halkeilu ja lohkeilu
Läpiviennit ja kiinnitykset	<p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappaus irti läpiviennistä - Rappauksen halkeilu <p>Saumaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Sauman tiiveys - Elastisten saumausmassojen kiinnittyminen rappaukseen - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Saumausmateriaalin ominaisuudet <p>Läpiviennit ja kiinnikkeet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kallistuvat pois päin julkisivusta - Vedenojauspellit suurimpien läpivientien ja kiinnitysten kohdalla

<p>Liittymät muihin rakenteisiin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parvekepielet - Parvekelaatat - Muut julkisivurakenteet 	<p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappaus irti rakenteesta - Rappauksen halkeilu <p>Saumaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Sauman tiiveys - Elastisten saumausmassojen kiinnittyminen rappaukseen - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Materiaalin ominaisuudet
<p>Kattopeltien tai -kermien ylösnostot</p>	<p>Sokkelipelti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Olemassaolo - Kiinnitys (alusrakenteeseen vs. rappausverkko) - Vedenpoistoreiät (porattu ylhäältä alaspäin tai porauksen aiheuttama peltin reunojen nousu otettu huomioon) - Ei korroosiovaurioita <p>Ylösnoston taustarakenteet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veden tunkeutuminen rakenteeseen estetty (bitumikaista tai vedenohjauspelti) - Vesi ohjataan pois rakenteen päältä - Käytettäessä vedenohjauspeltiä peltin kallistus riittävä ja pelti ei muodosta tasoa rappauksen eteen - Kattorakenteen tuulettuminen mahdollistettu - Ylösnostossa myrskypelti - Ylösnoston korkeus riittävä (≥ 300 mm) <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen ja ylösnoston välissä riittävä liikevara ja painuminen ei ole estetty - Rappauksen halkeilu ja lohkeilu
<p>Vaakasuuntaiset liikuntasaumot</p>	<p>Sauma</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sauman tiiveys - Saumausmateriaalissa ei vaurioita - Materiaalin ominaisuudet - Liikuntasauvakenttien välissä riittävä liikevara - Sauman jatkuvuus (esim. rakennuksen nurkkien yli) - Sahaus ylittää lämmöneristeeseen ja se katkaisee rappausverkon <p>Rappaus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rappauksen halkeilu

Pystysuuntaiset liikunta- sauma	Sauma <ul style="list-style-type: none">- Sauman tiivistys (kaikissa järjestelmissä sauman tiivistämistä ei suositella)- Saumas materiaalissa ei vaurioita- Materiaalin ominaisuudet- Sauman jatkuvuus (esim. sokkelipellit eivät jatku sauman yli/katkaistu sauman kohdalla)- Sahaus ylittää lämmöneristeeseen ja se katkaisee rappausverkon Rappaus <ul style="list-style-type: none">- Rappauksen halkeilu
--	---