

# Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa

Jukka Lahdensivu

RAKENNETTU  
YMPÄRISTÖ



SUOMEN YMPÄRISTÖ 17 | 2010

# Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa

**Jukka Lahdensivu**

Helsinki 2010

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

SUOMEN YMPÄRISTÖ 17 | 2010

Ympäristöministeriö  
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Ainoliisa Miettinen  
Kansikuva ja muut valokuvat: Jukka Lahdensivu

Julkaisu on saatavana myös internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

ISBN 978-952-11-3777-8 (nid.)  
ISBN 978-952-11-3778-5 (PDF)  
ISSN 1238-7312 (pain.)  
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)



## ESIPUHE

Nykyisen monien vuosikymmenten aikana rakennetun rakennuskannan julkisivuissa on käytetty monia erilaisia materiaaleja, joiden kestävyyttä muuttuvassa ilmastossa ei tarkkaan tunneta. Tässä työssä arvioidaan muuttuvan ilmaston näkökulmasta nykyisten julkisivutyyppeiden kestävyyttä, vaurioitumismekanismien ja vaurioitumisnopeuden muutoksia sekä korjaus- ja suojausmahdollisuuksia.

Työ perustuu Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitoksella aiemmin tehtyihin julkisivujen vaurioitumista ja korjausmahdollisuuksia koskeviin tutkimuksiin sekä tutkijoiden kokemuksiin julkisivujen vaurioitumisesta ja korjaamisesta. Tutkimus on tehty Ympäristöministeriön toimeksiannosta, josta työn valvojina ovat toimineet yli-insinööri Juha-Pekka Maijala sekä yliarkkitehti Minna Perähuhta. TTY:n asiantuntijaryhmän ovat muodostaneet professori Matti Pentti, erikoistutkija Jukka Lahdensivu sekä tutkijat Jommi Suonketo ja Kimmo Lähdesmäki. Raportoinnista on vastannut Jukka Lahdensivu.

Työssä on hyödynnetty tuoretta meteorologisista lähtökohdista tehtyä ACCLIM-hanketta ja sen tuloksia. Yhteistyö osoitti, miten paikallinen ilmastotieto on hyödynnettävissä vaurioitumisen ennakoinnissa ja miten sitä voidaan hyödyntää vaurioitumisen syntyä arvioitaessa. Kerätyn ilmastotiedon sekä erilaisten ilmastomallien avulla on mahdollista tarkastella julkisivujen ja parvekkeiden saamaa todellista rasitusta hyvinkin paikallisesti.

Laadukas suunnittelu ja harkitut yksityiskohdat, kestävyyttä edistävät materiaalit sekä huolellinen toteutus ovat edellytys pitkäikäiselle rakennukselle. Turmeltuminen voi olla haitallisen nopeaa, mikäli käytetyt materiaalit tai työnsuoritus ovat olleet heikkolaatuisia tai rakenneratkaisut huonosti toimivia tai virheellisiä. Säärasitus käynnistää useita rinnakkaisia turmeltumislmiöitä, jolloin julkisivun vaurioituminen tapahtuu yleensä näiden yhteisvaikutuksesta. Rakenteiden ja vaurioitumismekanismien tuntemiseen perustuva ennakoiva kunnossapito on keskeinen sopeutumiskeino ilmastonmuutoksen aiheuttamiin rasituksiin. Tämä ilmeinen, mutta käytännön kiinteistönpidossa hyvin haastava keino koskee kaikkia työssä käsiteltyjä julkisivutyyppejä.

Tämä tutkimustietoa ja kokemuksia koostava ja läpileikkaava julkaisu antaa suunnittelijoille ja kiinteistönpidon kanssa työskenteleville ajankohtaista tietoa julkisivutyyppeiden kestävydestä, niiden vaurioitumiseen johtavista syistä sekä mahdollisista korjaustavoista. Se soveltuu käytettäväksi myös opintomateriaalina. Työ on merkittävä lisä pohdintaan uuden arkkitehtuurin suojelumahdollisuuksista ja julkisivun alkuperäisen pintarakenteen luontevasta vaalimisesta.

Yli-insinööri  
Juha-Pekka Maijala



## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>Tiivistelmä</b> .....	7
<b>I Johdanto</b> .....	9
1.1 Yleistä .....	9
1.2 Tavoitteet ja rajaus .....	9
1.3 Suomalainen rakennuskanta .....	10
<b>2 Ilmastonmuutosennusteet</b> .....	13
2.1 Nykyinen ilmasto ja rakenteiden vaurioituminen.....	13
2.2 Ilmastonmuutosennusteet .....	16
<b>3 Keskeiset vauriomekanismit</b> .....	19
3.1 Raudoitteiden korroosio.....	20
3.2 Huokoisten materiaalien pakkasrapautuminen .....	21
3.3 Mikrobiologiset vaurioitumisprosessit .....	22
<b>4 Betonijulkisivut ja -parvekkeet</b> .....	24
4.1 Vaurioituminen.....	24
4.1.1 Raudoitteiden korroosio .....	24
4.1.2 Betonin pakkasrapautuminen .....	26
4.1.3 Muut vauriomekanismit.....	27
4.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen.....	28
4.3 Korjaus- ja suojausmahdollisuudet .....	31
<b>5 Puhtaaksimuuratut julkisivut</b> .....	34
5.1 Vaurioituminen.....	34
5.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen.....	37
5.3 Korjaus- ja suojausmahdollisuudet .....	38
<b>6 Rapatut julkisivut</b> .....	40
6.1 Vaurioituminen.....	40
6.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen.....	44
6.3 Korjaus- ja suojausmahdollisuudet .....	45
<b>7 Puujulkisivut ja muut pientalojen ulkoseinät</b> .....	48
7.1 Vaurioituminen.....	48
7.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen.....	50
7.3 Korjaus- ja suojausmahdollisuudet .....	50

<b>8</b>	<b>Metalli- ja lasijulkisivut.....</b>	<b>52</b>
8.1	Vaurioituminen.....	52
8.2	Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen.....	53
8.3	Korjaus- ja suojausmahdollisuudet .....	54
<b>9</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>55</b>
9.1	Nykytilanne.....	55
9.2	Säilyvyyden kannalta keskeistä.....	56
9.3	Tutkimus- ja kehitystarpeet .....	57
	 Kirjallisuusviitteet .....	 60
	Kuvailulehti .....	62
	Presentationsblad.....	63
	Documentation page .....	64



# Tiivistelmä

Yleisimmin ilmastonmuutoksen ymmärretään tarkoittavan ilmaston lämpenemistä tämän hetkisen tiedon mukaan lisääntyneistä kasvihuonepäästöistä kuten hiilidioksidista johtuen. Ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan lämpötilan lisäksi myös sateisiin, tuulioloihin, pilvisyyteen, ilman kosteuteen ja auringon säteilymääriin. Tässä tutkimuksessa ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioinnissa lähtöolettamuksina pidetään Ilmatieteen laitoksen ACCLIM-tutkimuksen päätelmiä ilmaston muuttumisesta seuraavan sadan vuoden aikana.

Ilmastolla on suuri vaikutus rakenteiden vaurioitumiseen sekä lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Vaurioitumisen ja korjaustarpeiden suhteen eniten korjaustarvetta nyt ja tulevaisuudessa on betonielementtijulkisivuissa ja -parvekkeissa. Näitä on rakennettu paljon 1960-luvun puolivälistä alkaen, julkisivuja kaikkiaan noin 44 milj. m<sup>2</sup> ja parvekkeita yli 900 000 kpl. Betonin pakkasenkestävyyden ja raudoitteiden korroosion kannalta eniten korjattavaa tulee olemaan 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa betonielementtirakennuksissa.

Rapattuja julkisivuja on tehty ennen 1970-lukua ja vastaavasti jälleen 2000-luvulla, tosin silloin yleisimmin täysin erilaisella tekniikalla (eristerappaukset). Vanhoja julkisivurappauksia on usein korjattu jo aiemmin ja erityisesti 1960-luvulla ehjiäkin rappauksia maalattiin tiiviillä pinnoitteella, jonka seurauksena ne ovat tähän päivään mennessä usein pitkälle rapautuneita. Ne tiiviillä maalilla maalatut rappaukset, joita ei vielä ole uusittu, joudutaan uusimaan jo seuraavien 10–20 vuoden aikana.

Puhtaaksimuuratuja tiilijulkisivuja esiintyy yleisesti vanhoissa kirkoissa, teollisuusrakennuksissa ja varastorakennuksissa yms. Näissä seinärakenteena on massiivinen tiilimuuri. Näiden julkisivujen saumat ovat usein lisähuokostamattomina huonosti pakkasta kestäviä ja lujuudeltaan heikkoja kalkkilaasteja. 1960-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa on usein päädyissä umpinainen kuorimuuri, joiden yläosissa on havaittavissa sekä tiilien että erityisesti jälkisaumatun laastin rapautumista.

Puujulkisivuja on kaikkina vuosikymmeninä tehty määrällisesti eniten. Puujulkisivut ovat olleet yleensä vain matalien rakennusten, kuten pientalojen sekä rivitalojen julkisivumateriaaleja. Matalat räystäälliset rakennukset saavat selvästi vähemmän saderasitusta kuin korkeat räystäättömät kerrostalot, joten alhaisemmasta säärasituksesta sekä erilaisista vauriomekanismeista johtuen vaurioituminen on ollut hitaampaa ja korjaustarve jäänyt vähäisemmäksi.

Kaikkien tässä tutkimuksessa käsiteltyjen julkisivutyyppeiden säilyvyyden kannalta on keskeistä rakenteiden ennakoiva kunnossapito. Julkisivun kosteusrasitustason alhaisena pysymisen kannalta on tärkeää, että pellitykset ovat ehjiä ja suojaavat rakennetta suunnitellusti, rakenneosien väliset elastiset saumat sekä maalipinnat ovat ehjiä.

Jo nykyisessä ilmastossa tavallista enemmän vetenä tai räntänä satavien talvien seurauksena voidaan havaita merkittävää vaurioitumisen lisääntymistä erityisesti vanhoissa heikoissa kalkki- ja kalkkipitoisissa rappauksissa. Vanhojen rakennusten rappaukset ovat siten erittäin herkkiä talvisten vesi- ja räntäsateiden sekä jäätymissulamissykliä lisääntymiselle.

Kerätyn ilmastotiedon sekä erilaisten ilmastomallien avulla on mahdollista tarkastella julkisivujen ja parvekkeiden saamaa todellista rasitusta hyvinkin paikallisesti ja tämän perusteella arvioida rakenteiden vaurioitumista sekä suojaustarpeita tarkemmin, kun tunnetaan rakenteiden materiaaliominaisuudet sekä mahdolliset puutteet säilyvyyden suhteen. Yksittäisen rakennuksen ja rakenteen säilyvyystarkastelun perustana on ilmastotiedon lisäksi aina perusteellinen kuntotutkimus.

# 1 Johdanto

## 1.1

### Yleistä

Nykyisen jo olemassa olevan rakennuskannan sopeutuminen tulevaisuuden ilmasto-oon on asiana merkittävä. Tällä hetkellä suunniteltavien rakennusten käyttöikä-tavoite on 50–100 vuotta ja vanhemmankin rakennuskannan käyttöikää jatketaan korjaamalla.

Uudisrakentamisessa rakentamistapojen muutokset ovat menossa kohti energiatehokkaampaa rakentamista. Tähän ovat ohjaamassa mm. vuoden 2010 alusta voimaanastuneet uudet lämmöneristysvaatimukset sekä myös tulevaisuudessa tulevat lämmöneristysvaatimusten kiristykset. Suuntaus on kohti ns. passiivitalojen rakentamista, jotta Suomi voisi saavuttaa asetetut tavoitteet energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Uudisrakentamisen kohdalla rakenteiden ja rakentamistapojen sopeutumista tulevaisuuden ilmasto-oon tutkitaan mm. Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitoksen FRAME-tutkimuksessa.

TTY:n Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat -tutkimuksessa on koottu betonielementtirakenteiden materiaali- ja rakenneominaisuuksia, nykykuntoa ja vaurioitumista kattavasti kuvaava tietokanta noin 950 betonielementtirakennuksen kuntotutkimustiedoista. Tietokannan rakennukset ovat valmistuneet välillä 1963–1996. BeKo-tutkimuksen tulokset ovat keskeisessä osassa tätä esiselvitystä.

## 1.2

### Tavoitteet ja rajaus

Tämän esiselvityksen tavoitteena on arvioida nykytiedoin tällä hetkellä käytössä olevien julkisivurakenteiden sekä niiden korjausmenetelmien käyttökelpoisuutta tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa sekä saada käsitys, millaisia tutkimustarpeita olemassa olevan rakennuskannan sopeutumisessa ilmastonmuutokseen on.

Tässä esiselvityksessä keskitytään ensisijaisesti huokoisten kiviainespohjaisten julkisivu- ja parvekemateriaalien vauriomekanismeihin ja niiden keskeisimpiin korjaustapoihin.

## Toimintatavat

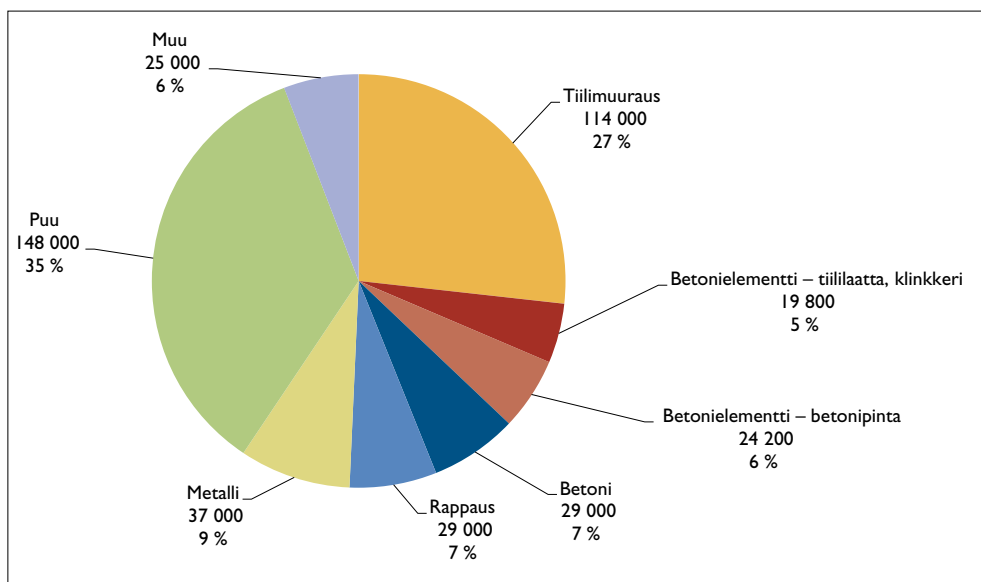
Esiselvitys perustuu kirjallisuustutkimukseen sekä tutkijoille aiemman kokemuksen kautta tulleisiin näkemyksiin eri rakenteiden keskeisistä vaurioitumismekanismeista ja niiden korjausmahdollisuuksista.

Tutkimusryhmän ovat muodostaneet TTY:n Rakennustekniikan laitoksen tutkijat prof. Matti Pentti, tekn. lis. Jukka Lahdensivu, dipl.ins. Jommi Suonketo sekä dipl. ins. Kimmo Lähdesmäki.

### 1.3

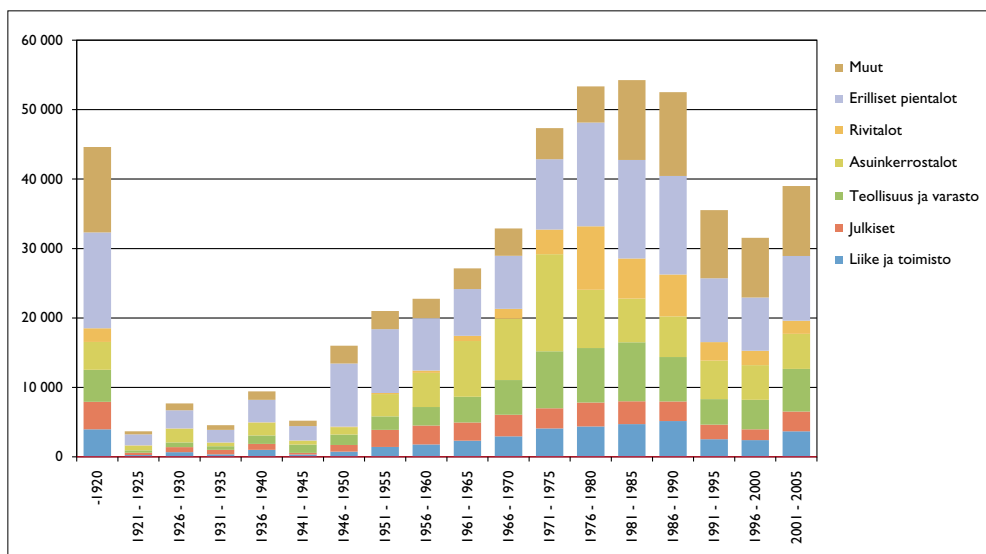
## Suomalainen rakennuskanta

Suomen rakennuskannassa vuonna 2005 suurimman yksittäisen ryhmän muodostivat erilliset pientalot 29 %:n osuudella. Tämän lisäksi rivitaloja oli 7 %. Tämä näkyy erityisesti puujulkisivujen suurena osuutena, 34 %, joka on siten määrällisesti merkittävin julkisivumateriaali (Vainio et al. 2005). Eri julkisivumateriaalien osuudet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Eri julkisivupintojen osuudet Suomen rakennuskannassa, yhteensä 425 milj.m<sup>2</sup> (Vainio et al. 2005).

Eurooppalaisittain tarkasteltuna Suomen rakennuskanta on varsin nuorta, suurin osa on rakennettu 1960-luvulla ja sen jälkeen, ks. kuva 2. Tästä huolimatta julkisivukorjaamisessa korostuvien erilaisten betonijulkisivujen osuus on vain 18 %. Korjaustoiminta on aktiivista myös betoniparvekkeiden osalla, jotka on yli 90 prosenttisesti rakennettu 1960-luvulla ja sen jälkeen (Vainio et al. 2005). Parvekkeita on rakennettu lähinnä asuinkeuhkaloihin, joita rakennettiin eniten betonelementtirakentamisen valtakaudella 1960-luvun puolivälistä lähtien.



Kuva 2. Suomen rakennuskannan kerrosala rakennusten valmistusajankohdan mukaan, yhteensä 510 milj. m<sup>2</sup> vuonna 2005 (Vainio et al. 2005).

Tiilijulkisivujen osuus koko rakennuskannassa on yllättävän suuri, 26 %. Tiilijulkisivujen osuus alkaa kasvamaan 1960-luvun puolivälistä lähtien (Vainio et al. 2005). Huomattava osuus tiilijulkisivuista on pientaloissa, mutta erityisesti 1960-luvulla betonielementtikerrostalojen umpinaisissa päädyissä suosittiin puhtaaksimuurattuja kuorimuureja. Tilastointitavasta johtuen osa tiililaattapintaisista betonielementtjulkisivuista on myös saattanut kirjautua tiilijulkisivuihin.

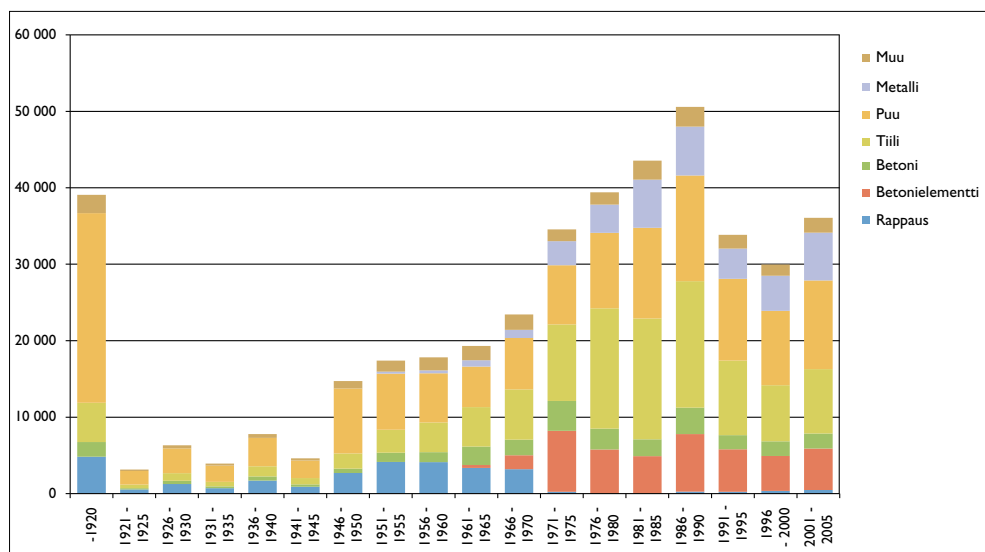
Rapattujen julkisivujen osuus on vain 7 %, ja niiden käyttö rakentamisessa on käytännössä loppunut 1960-luvun loppuun (Vainio et al. 2005). Rapattujen julkisivujen suosio on alkanut uudelleen korjausrakentamisen myötä betonielementtitalojen peittämissä korjauksissa. Peittämissä korjauksissa sekä 2000-luvun uudisrakentamisessa rappaukset ovat eristerappauksia, eli tekniikka ja rakenne ovat täysin erilaisia kuin vanhoissa rakenteissa.

Metallin käyttö julkisivumateriaalina on alkanut merkittävimmin 1970-luvulla. Metallijulkisivujen osuus on 9 % (Vainio et al. 2005). Neljässä vuosikymmenessä on rakennettu enemmän metallijulkisivuja kuin rapattuja julkisivuja, joiden käyttäminen julkisivumateriaalina oli Suomessa yleistä jo 1800-luvun alusta lähtien. Metallijulkisivuja on käytetty paljon mm. suurten teollisuus- ja varastorakennusten julkisivuissa.

Kaikkien muiden julkisivumateriaalien osuus on yhteensä vain 6 % (Vainio et al. 2005). Tähän ryhmään lukeutuvat mm. lasijulkisivut sekä erilaiset luonnonkivet ja rakennuslevyt.

Ennen 1920-lukua rakennetut rakennukset ovat erillisiä pientaloja lukuun ottamatta suurelta osin rakennettu Suomen suurimpiin kaupunkeihin kuten Helsinkiin, Turkuun ja Tampereelle. Vanhinta rakennuskantaa on edellisten lisäksi muissa vanhoissa kaupungeissa, kuten Porvoossa.

Muuta rakennuskantaa ei ole tilastoissa eritelty tarkemmin, joten ajanjakson puujulkisivujen huomattavan suuren osuuden perusteella merkittävä osa niistä voisi olla maatalouteen liittyviä puurakennuksia ja eläinsuojia, ks. kuva 3.



Kuva 3. Suomen rakennuskannan julkisivut rakennusten valmistusajankohdan mukaan, yhteensä 425 milj. m<sup>2</sup> vuonna 2005 (Vainio et al. 2005).

Kaupungeissa 1700- ja 1800-luvut ovat olleet tiilirakentamisen aikakautta aina 1920-luvulle saakka. Empiiren aikakausi kesti 1700-luvun lopulta 1800-luvun puoli-väliin saakka, jolloin rakennettiin mm. Helsingin Senaatintori ja sitä ympäröivät merkittävät rakennukset. Tuohon aikaan kuului selkeät puhtaslinjaiset rapatut julkisivut. Uusgotiikan aikakausi seurasi empireä. Tähän aikaan sijoittuvat mm. Ritarihuone Helsingissä sekä monet puhtaaksimuuratut kirkot ja teollisuusrakennukset. Uusgotiikka poistui muodista 1900-luvulle tultaessa (Nikula 1993).

1800-luvun lopulla rakennusten julkisivuissa koristeellisuus sai uutta nostetta uusrenessanssin myötä. 1870-luvulla koristeluaiheet olivat vielä hillittyjä mutta jo kymmenen vuotta myöhemmin koristelu oli yltäkyläistä. Tunnettuja uusrenessanssirakennuksia ovat Ateneum sekä Grönqvistin talo Helsingissä (Nikula 1993). Pääasiainen julkisivumateriaali oli jälleen rappaus. Aikakaudelle tyypilliset monimuotoiset koristeet on tehty yleensä kipsistä ja kiinnitetty mekaanisesti rappaukseen.

1800-luvun viimeisten vuosien sekä 1910-luvun välistä aikaa kutsutaan usein kansallisromantiikan aikakaudeksi, koska tuolta ajalta ovat peräisin mm. Kansallisteatteri, Kansallismuseo ym. suomalaisuutta korostavat rakennukset. Useimmiten julkisivut ovat olleet edelleen rapattuja, mutta tällä aikakaudella kehittyi erityinen ”kivityyli”, jossa julkisivut tehtiin pääasiassa varsin karkeasti työstetystä graniitista (Lahdensivu 2003).

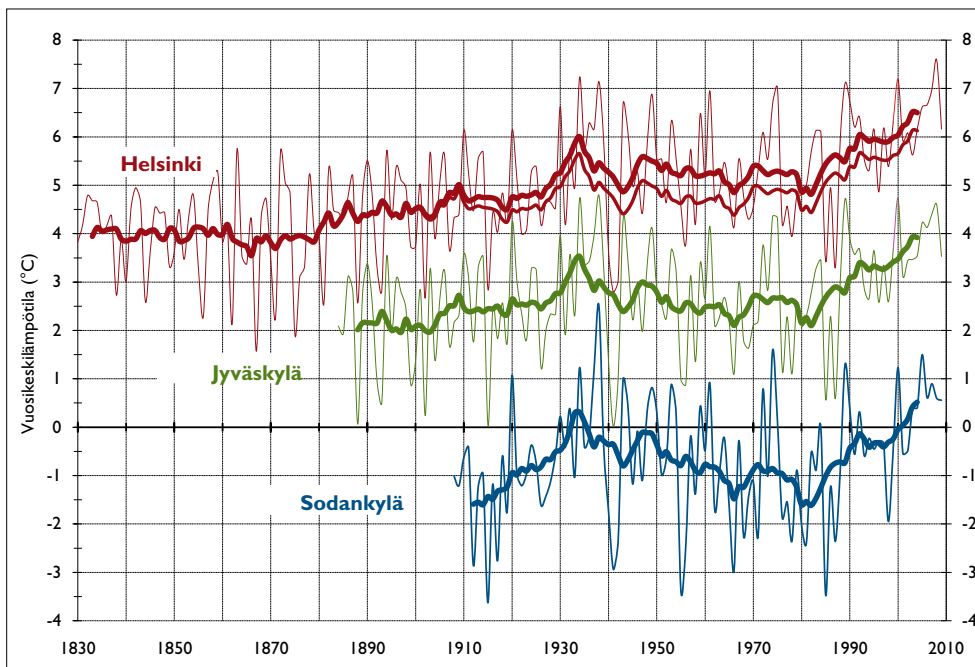
Kansallisromantiikka muuttui nopeasti rationaaliseen suuntaan ja 1920-luvusta puhutaan pohjoismaisen klassismin aikakautena (Nikula 1993). Julkisivuja tehtiin edelleen jonkin verran luonnonkivistä, mutta kivet oli työstetty sileiksi ja säännöllisiksi, esimerkiksi Helsingin Pörssi ja vakuutusyhtiö Kalevan talo Helsingissä. Yleisimmin kivitalojen julkisivuissa käytettiin rappauksia tai puhtaaksimuurausta.

## 2 Ilmastonmuutosennusteet

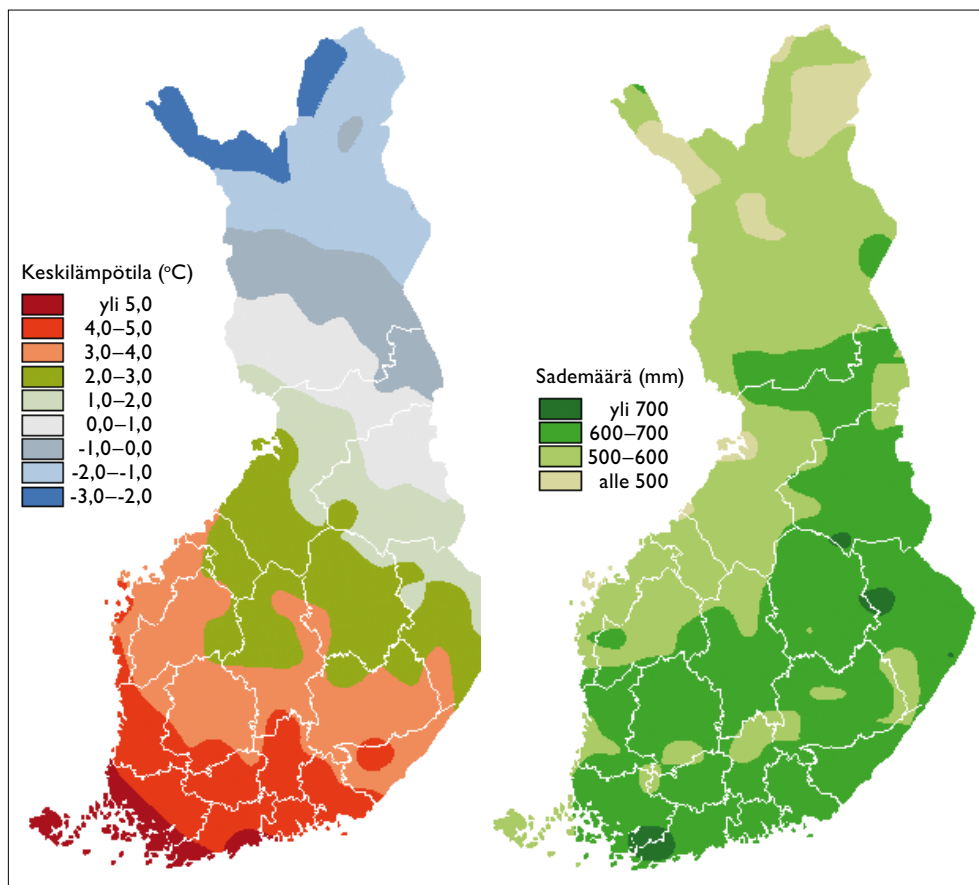
### 2.1

### Nykyinen ilmasto ja rakenteiden vaurioituminen

Jokainen vuosi ei ole sääolosuhteiltaan toisinto edellisestä, vaan sekä ulkoilman lämpötiloissa, suhteellisessa kosteudessa että sateisuudessa tapahtuu vuosittaista vaihtelua, ks. kuva 4. Sääolosuhteissa on ollut huomattavia vuosittaisia vaihteluja mutta keskimääräinen muutos on ollut ilmaston hidas lämpeneminen koko mitaushistorian ajan.



Kuva 4. Vuosikeskilämpötilat Helsingin Kaisaniemessä vuosilta 1830–2009, Jyväskylästä 1884–2009 ja Sodankylästä 1908–2009. Vuotuiset arvot ovat ohuella viivalla ja kymmenen vuoden liukuva keskiarvo paksulla. Helsingin lämpötiloista mukana myös arvio siitä, miten paljon kaupungistuminen on kohottanut lämpötilaa (kymmenen vuoden liukuva keskiarvo, keskipaksu viiva) (Ilmatieteen laitos 2010).



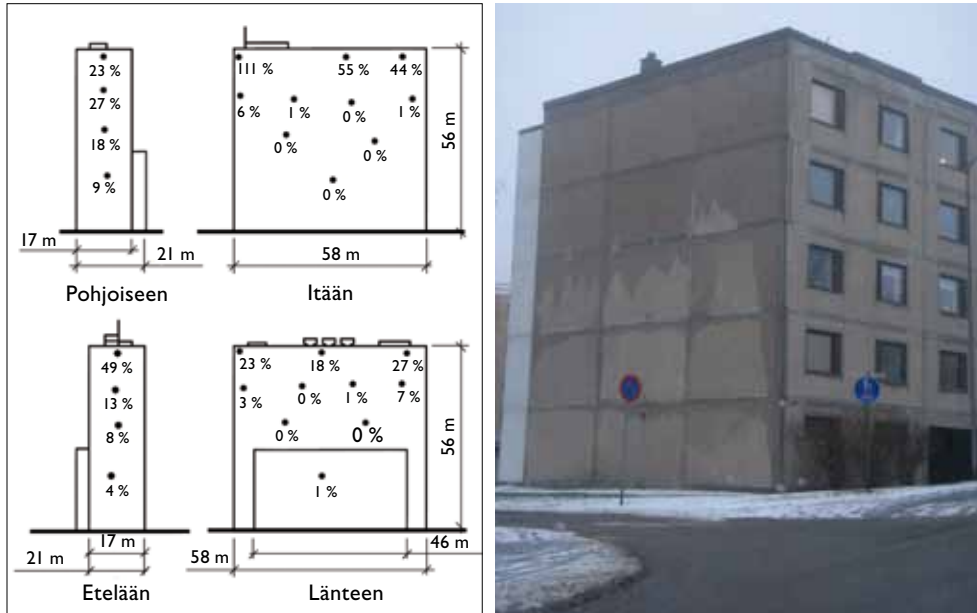
Kuva 5. Vuoden (tammi–joulukuu) keskilämpötila ja sademäärä laskettuna vuosien 1971–2000 havainnoista (Ilmatieteen laitos 2010).

Nykyisessä ilmastossa, joka on ollut koko mittausten historian ajan keskimäärin melko tasainen ilmastonmuutosennusteisiin verrattuna, ulko-olosuhteissa olevissa julkisivu- ja parvekerakenteissa on tapahtunut korjaustarvetta vaativaa vaurioitumista. Rakenteiden ikääntyessä tapahtuva vaurioituminen johtuu pääosin ilmaston aiheuttamasta säärasituksesta, joka saa aikaan materiaalien ominaisuuksien heikkenemistä eli turmeltumista.

Merkittävää korjaustarvetta on ilmaantunut monissa tapauksissa kuitenkin jo melko varhain, luokkaa 10–20 vuotta rakennuksen valmistumisen jälkeen, jolloin todellinen käyttöikä on jäänyt huomattavan alhaiseksi. Vaurioitumisen syynä ovat pääasiallisesti olleet nykyistä ilmasto huonosti kestävät materiaalivalinnat, huonosti toimivat liitokset ja detaljit sekä erityisesti materiaali- ja työvirheet. Vaurioitumisnopeus on ollut suurinta rannikkoalueilla ja Etelä-Suomessa. Näillä alueilla sääolosuhteet ovat materiaalien kestävyys suhteen ankarimmat: sademäärät ovat suurempia kuin Pohjois-Suomessa, sade tulee useimmin vetenä tai räntänä ja lämpötilavaiheluita nollan molemmin puolin on enemmän.

Eri julkisivujen saamalla saderasituksella on suuria eroja maantieteellisen sijainnin, rakennuksen korkeuden sekä rakennuspaikan suojaisuuden mukaan. Eniten saderasitusta saavat korkeiden rakennusten nurkat ja yläosat, joten vaurioituminen on



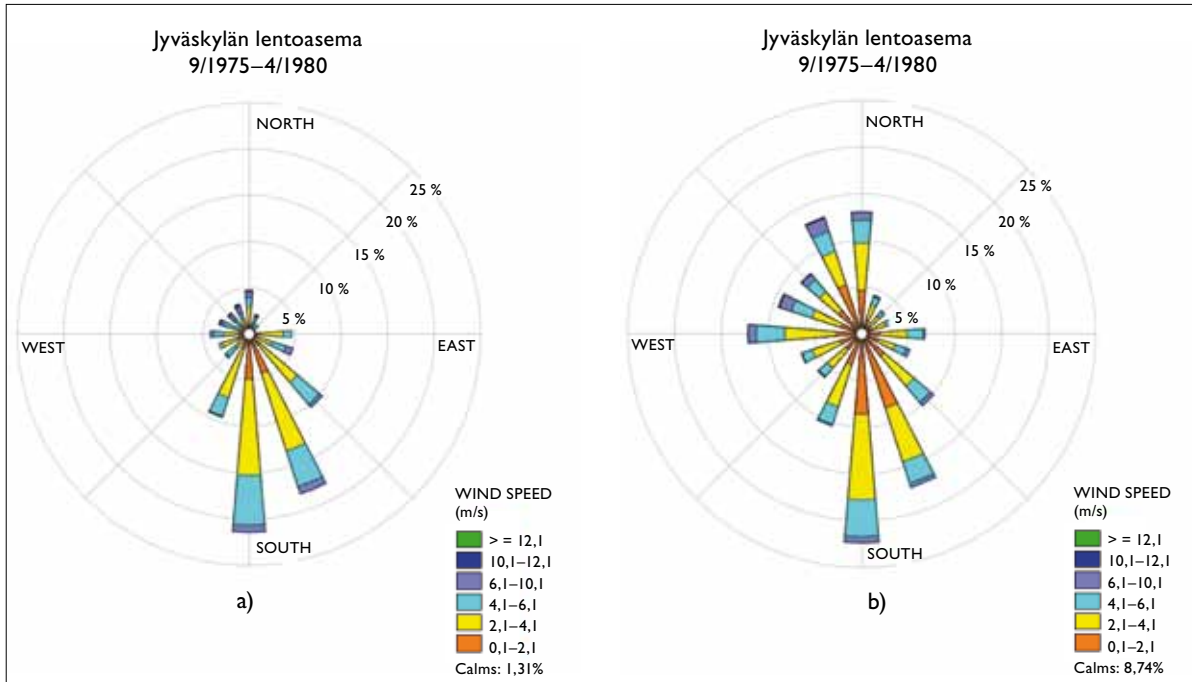


Kuva 6. Vasemmallä ruotsalaisessa tutkimuksessa (Jerling & Schechninger 1983) mitattuja julkisivele satavan viistosateen osuuksista. Oikealla avoimella paikalla oleva rakennuksen päätö sateen alkuhetkillä.

näissä kohdissa yleensä nopeinta. Matalissa, enintään kaksikerroksisissa rakennuksissa pitkät ulkonevat räystäät suojaavat tehokkaasti julkisivuja viistosaderasitukselta.

Eri julkisivujen saaman viistosaderasituksen määrä vaihtelee mm. vallitsevien tuulensuuntien, pisarakoon, pisan putoamisnopeuden sekä tuulennopeuden mukaan. Julkisivuille tulevan sateen määrä on karkeasti noin puolet maahan vaakapinnalle tulleen sateen määrästä. Vetenä tai räntänä tulevan sateen suunta voi olla hyvinkin poikkeava verrattuna paikkakunnan kaikkiin esiintyviin tuulensuuntiin, kuten Ilmatieteen laitoksen tekemistä mittauksista voidaan havaita, ks. kuva 7.

Vetenä tai räntänä tuleva sade on Suomessa tullut yleensä etelän ja lännen suunnilta. Pohjoisesta tulevat sateet ovat olleet yleensä lunta. Tämä näkyy myös julkisivujen ja parvekkeiden vaurioitumisessa, pakkasrapautuminen on etelä- ja länsijulkisivuilla huomattavasti yleisempää kuin muilla julkisivuilla. Sama ilmiö voidaan havaita myös raudotteiden korroosion aiheuttamissa näkyvissä vaurioissa. Lumisateesta ei sellaisenaan ole haittaa julkisivuille, koska se ei pääse imeytymään rakenteen huokosverkostoon. Tästä syystä pohjoisjulkisivut ovat yleisesti paremmassa kunnossa kuin muut julkisivut.



Kuva 7. a) Tuulensuunnat vesisateena tai räntänä tulleen sateen aikana ja b) tuulensuunnat kaikkina ajanhetkinä Jyväskylän lentoaseman mittauspisteessä talvikaudella ajalla syyskuu 1975–huhtikuu 1980 (Ilmatieteen laitos 2010).

## 2.2

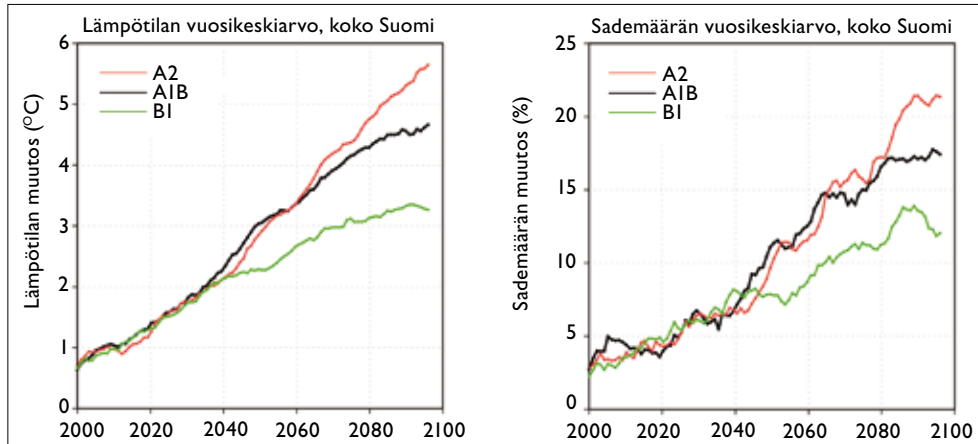
### Ilmastomuutosennusteet

Ilmastolla on suuri vaikutus rakenteiden vaurioitumiseen sekä lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Yleisimmin ilmastomuutoksen ymmärretään tarkoittavan ilmaston lämpenemistä tämän hetkisen tiedon mukaan lisääntyneistä kasvihuonepäästöistä kuten hiilidioksidista johtuen. Ilmastomuutoksen on arvioitu vaikuttavan lämpötilan lisäksi myös sateisiin, tuulioloihin, pilvisyyteen, ilman kosteuteen ja auringon säteilymääriin.

Ilmastomuutoksen ennustettavuutta voidaan arvioida erilaisilla ilmastomalleilla, joita on maailmanlaajuisesti olemassa useita erilaisia. Ilmastomalleihin liittyy olennaisena osana tulevaisuuden kasvihuonekaasupäästöskenaariot, joissa arvioidaan erilaisia oletuksia mm. tulevasta väestön, talouden sekä energiatuotantotapojen kehityksestä. Niiden perusteella arvioidaan kasvihuonekaasupäästöjen kehittymistä.

Ilmatieteen laitoksen ACCLIM-tutkimuksessa on käyty läpi erilaiset ilmastomallit ja arvioitu sekä laadittu sen perusteella ilmastomalleja Suomen olosuhteisiin. Kuvassa 8 on esitetty ACCLIM-hankkeen johtopäätöksiä pessimistisimmän, optimistisimmän ja todennäköisimmän kasvihuoneskenaarion vaikutukset lämpenemiseen sekä sateisuuteen (Jylhä et al. 2009 ja [www.fmi.fi/acclim](http://www.fmi.fi/acclim)).

Kaikissa päästöskenaarioissa keskilämpötila nousee suunnilleen yhtä paljon ja yhtä nopeasti vuoteen 2040 asti. Selvemmin erot eri päästöskenaarioiden mukaan tulevat tapahtumaan tämän vuosisadan puolenvälin jälkeen.



Kuva 8. Suomen vuotuisen keskilämpötilan (vasen kuva) ja sademäärän (oikea kuva) muuttuminen vuosina 2000–2100 verrattuna ilmastollisen normaalijakson 1971–2000 keskiarvoon. Ennusteet ovat 19 eri ilmastomallin tulosten keskiarvoja, ja ne on esitetty erikseen kolmelle kasvihuonekaaskenaariolle (BI, AIB ja A2) (Jylhä et al. 2009).

Rakennusten suunnittelussa laskennallinen elinkaari on tyypillisesti 50–100 vuotta, joten nykyinen rakennuskanta on periaatteessa elinkaarensa päässä jo vuosisadan puoliväliin mennessä. Rakennuksia ei todennäköisesti kuitenkaan kovin suuressa mittakaavassa tulla purkamaan, vaan niiden elinkaarta jatketaan korjaamalla ja uusimalla. Tämä tarkoittaa erityisesti vanhemmassa rakennuskannassa tehtyjen korjausten toimivuustarkastelua tulevaisuuden ilmastossa.

### Lähtötiedot

Nykyisin käytössä olevien rakennetyyppien rakennusfysikaalista toimintaa tulevaisuuden ilmastossa tutkitaan Tampereen teknillisessä yliopissa käynnissä olevassa FRAME-tutkimuksessa. Tässä esiselvityksessä keskitytään olemassa olevan rakennuskantaan, jonka säilymisen ja korjausmahdollisuuksien arvioimisen kannalta seuraavat muutokset ovat ACCLIM-hankkeen mukaan keskeisimpiä (Jylhä et al. 2009):

- Vuoden keskilämpötilan ennustetaan olevan tämän vuosisadan loppuvuosikymmeninä 2–6 °C korkeampi kuin vertailujaksona 1971–2000. Talvella lämpötila nousee 3–9, kesällä 1–5 astetta. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maamme pohjoisosissa kuin etelässä, kun taas kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa. Mikäli lämpeneminen osuu esitetyn epävarmuushaarukan keskivaiheille, vuosisadan lopulla Keski-Lapin lämpöolot vastaisivat suurin piirtein nykyistä Etelä-Suomea.
- Ilmaston lämmitessä myös sademäärät lisääntyvät, vuosisadan lopulle tultaessa talvella 10–40 % ja kesällä 0–20 % jaksoon 1971–2000 verrattuna. Muutos on suurempi pohjoisessa kuin etelässä.
- Talvikuukausien lämpötilan nollarajan ohituspäivät (vuorokauden aikana sekä pakkasta että suojaa) lisääntyvät aluksi koko maassa, pohjoisessa ja idässä myöhemminkin. Lämpötilan kohoaminen ja nollapistepäivien väheneminen syksyllä ja keväällä johtaa kuitenkin siihen, että nollapistepäivien vuotuinen lukumäärä on vuosisadan loppupuolelle saavuttaessa nykyistä suurempi enää vain paikoin pohjoisessa.

- Vuosisadan viimeiseen kolmannekseen siirryttäessä pakkaspäiviä on malliarvioiden mukaan Pohjois-Suomessa noin kolmannes ja etelässä noin puolet nykyistä vähemmän. Aikaväli syksyn ensimmäisestä kevään viimeiseen pakkaspäivään lyhenee lähes kahdella kuukaudella. Samalla tämän pakkaskauden lomaan osuvat suojapäivät lisääntyvät.
- Talvella sadepäivät yleistyvät ja sateet runsastuvat. Samalla talvien pisimmät sateettomat jaksot lyhenevät. Rankkasateet voimistuvat myös kesällä. Sen sijaan kesän sadepäivien määrän ja pisimmän poutajakson muutoksista malliaineistot antavat toisistaan poikkeavia arvioita varsinkin Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomen kesässä sadepäivät saattaisivat kuitenkin harveta.
- Lämpötilan nousu, pilvisyyden lisääntyminen sekä sateisuuden kasvaminen nostavat ilman kosteuspitoisuutta jotka puolestaan lisäävät homeenkasvulle suotuisten ajanjaksojen määrää.

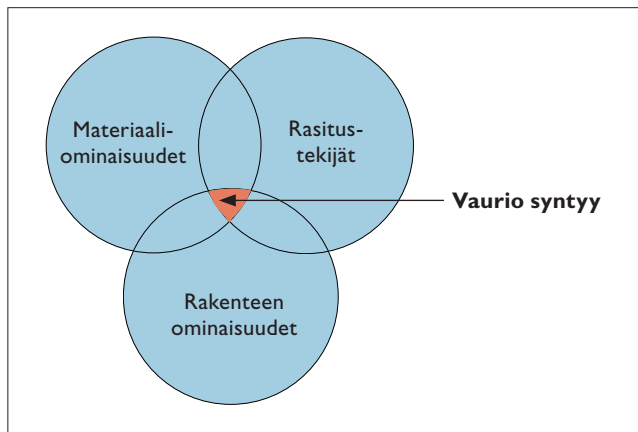
### Päätelmät

Julkisivujen ja parvekkeiden säilyvyyden ja korjattavuuden kannalta olosuhteet tulevat muuttumaan monin paikoin selvästi epäedullisempaan suuntaan. Nykyisellään rakenteiden vaurioituminen on huomattavasti nopeampaa rannikkoalueella sekä eteläisessä Suomessa kuin sisämaassa sekä pohjoisempana ja idempänä keskimäärin. Rakenteiden vaurioitumisnopeus tulee siis suurimmassa osassa Suomea kasvamaan, mikäli välttämättömät huolto- ja suojaustoimet laiminlyödään nyt ja tulevaisuudessa.

Talvisateiden lisääntyminen ja olomuodon mahdollinen muutos vetisemmäksi lisää rakenteiden kastumista samalla kun kuivumisolosuhteet ovat huonoimmillaan. Rankkasateiden määrän lisääntyminen vaikuttaa eniten puu- ja levyntaisissa julkisivuissa koko ulkoseinärakenteen kastumiseen. Tämän lisäksi vetenä tulevan sateen suunnan muuttuminen nykyisestä lisää sellaisten julkisivujen saamaa saderasitusta, jotka ovat tähän saakka olleet paremmin sateelta suojassa.

### 3 Keskeiset vauriomekanismit

Rakenteiden ikääntyessä tapahtuva vaurioituminen johtuu pääosin ilmaston aiheuttamasta sääräsituksesta, joka saa aikaan materiaalien ominaisuuksien heikkenemistä eli turmeltumista. Keskeisimpiä julkisivu- ja parvekerakenteisiin korjaustarvetta aiheuttavia vaurioitumismekanismeja ovat raudotteiden korrosio, huokoisten materiaalien pakkasrapautuminen sekä erilaisten orgaanisten aineiden mikrobivaurioituminen. Myös muut ilmastolliset tekijät, kuten auringon UV-säteily vanhentaa materiaaleja, kuten maalipintoja sekä elastisia saumauksia, jolloin niiden toiminta ja alustaa suojaavat ominaisuudet heikkenevät.



Kuva 9. Vaurioiden syntyyn vaikuttavat materiaaliominaisuudet, rakenteen ominaisuudet sekä niihin kohdistuvat rasitukset.

Turmeltuminen voi olla haitallisen nopeaa, mikäli käytetyt materiaalit tai työnsuoritus ovat olleet heikkolaatuisia tai rakenneratkaisut virheellisiä tai huonosti toimivia. Sääräsitus käynnistää useita rinnakkaisia turmeltumisilmiöitä, jolloin julkisivun vaurioituminen tapahtuu yleensä useiden turmeltumisilmiöiden yhteisvaikutuksesta. Turmeltumisilmiöt ovat alkuvaiheessa hitaasti eteneviä, mutta vaurioiden edetessä turmeltumisnopeus yleensä kiihtyy.

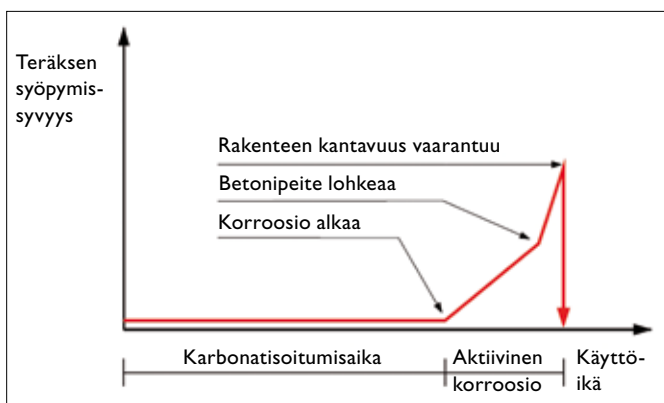
## Raudoitteiden korrosio

Betonissa olevat raudoitteet ovat yleensä hyvin korroosiolta suojassa, koska betonin korkean alkalisuuden ansiosta terästen pinnalle muodostuu ns. passiivikalvo, joka estää korroosion. Korroosiosuojaus on virheettömässä rakenteessa hyvin pysyvä, koska passiivikalvo on itseään jatkuvasti korjaava ja terästä suojaava betonikerros hidastaa tiiviydellään ja yhtenäisyydellään erilaisten korroosiota aiheuttavien aineiden (hapot, kloridit, sulfaatit) pääsyä raudoitteiden pinnalle. Korrosio saattaa kuitenkin käynnistyä, jos suojabetonin tiiviys ja /tai paksuus ovat puutteellisia.

Teräksen passiivisuuteen perustuva korroosiosuoja voidaan menettää ja korrosio voi käynnistyä joko raudoitteita suojaavan **betonin karbonatisoitumisen** tai **kloridien** vaikutuksesta. Betonin halkeilu voi lisätä em. tekijöiden haittavaikutusta. **Teräksen korroosion nopeuteen** karbonatisoituneessa ja /tai kloridipitoisessa betonissa vaikuttavat pääasiassa seuraavat tekijät:

- betonin **kosteuspitoisuus**, joka vaikuttaa elektrolyytin määrään ja hapen saantiin
- **lämpötila**, jonka kohoaminen nopeuttaa korroosiota, mutta toisaalta voi myös edistää rakenteen kuivumista
- betonin **kloridipitoisuus**.

Huokosverkoston suhteellisen kosteuden lisääntyessä betonin sähkönjohtavuus kasvaa huomattavasti. Huokosverkoston täytyminen vedellä toisaalta myös vähentää hapen diffuusiota rakenteeseen. Karbonatisoitumisen käynnistämä teräksen korroosion katsotaan yleisesti alkavan, kun suhteellinen kosteus betonissa ylittää 65–70 %. Korroosionopeus kasvaa merkittävästi suhteellisen kosteuden noustessa yli 80–85 %-tason (Tuutti 1982). Kloridien aiheuttama korrosio alkaa jo alemmilla kosteuspitoisuuksilla ja on usein selkeästi nopeampaa kuin karbonatisoitumisen käynnistämä korrosio (Broomfield 1997).



Kuva 10. Korrosioprosessin vaiheet. Betonin karbonatisoitumisvaiheen aikana rakenteeseen ei synny vaurioita. Rakenteen vaurioituminen alkaa aktiivisen korrosiovaiheen aikana. Rakenteen käyttöikä päättyy silloin, kun se korjataan joko teknisten tai ulkonäöllisten syiden vuoksi.

**Aktiivinen korrosiovaihe** voi kestää useita vuosia sen jälkeen, kun teräksen pinnassa oleva passiivikalvo on rikkoutunut joko betonin karbonatisoitumisen tai kloridien vaikutuksesta. Aktiivisen korroosion aikaan vaikuttavat raudoitteen betonin paksuus suhteessa raudoitteen halkaisijaan sekä betonin kosteuspitoisuus ja lämpötila. Korroosionopeus kasvaa merkittävästi betonin suhteellisen kosteuden noustessa yli 80 %. Näin sateelle alttiissa pinnoissa aktiivinen korrosio etenee nopeammin kuin sateelta suojatuissa pinnoissa.

## Huokoisten materiaalien pakkasrapautuminen

Kuivan betonirakenteen toistuvasta jäätymisestä ja sulamisesta aiheutuu vain tavanomaisia lämpöliikkeitä, jotka eivät sinällään aiheuta betonin vaurioitumista. Suomalaisissa ulko-olosuhteissa julkisivu- ja parvekerakenteiden betonin huokosrakenteeseen on sitoutunut yleensä vaihtelevia määriä kosteutta.

Huokoisten materiaalien toistuva kastuminen ja sen jälkeinen jäätyminen saattavat johtaa pakkasrapautumiseen. Nopeimmin vaurioituvat alueet, joissa kastuminen on pahinta ja kuivumisolosuhteet huonoimmat. Vesi laajenee jäätyessään noin 9 tilavuus-%, joten materiaalissa olevan veden on päästävä työntymään huokosverkostossa olevaan ilmatäytteiseen tilaan, jotta verkostossa ei syntyisi liian suurta, murtumista aiheuttavaa hydraulista painetta (Pigeon & Pleau 1995).

Vesi ei käyttäydy huokoisen materiaalin huokosrakenteessa samalla tavalla kuin ns. vapaa vesi, vaan materiaalin sisältämät eri kokoluokan huokokset vaikuttavat oleellisesti siihen, miten vesi materiaalin sisällä käyttäytyy mm. toistuvassa jäätymisessä ja sulamisessa. Tämä johtuu siitä, että lämpötilavaihteluihin liittyvät veden fysikaaliset ja kemialliset ilmiöt ovat suhteessa veden pintakemialliseen ja -fysikaaliseen käyttäytymiseen erilaisissa huokosissa. Huokoisen materiaalin pakkasvaurioitumiselle on esitetty maailmassa yli 15 erilaista teoreettista mallia tai selitystä, joista useimmat on kehitetty betonille (Kuosa et al. 2000).

Tunnetuin pakkasvaurioitumisteoria lienee Powersin hydraulisen paineen teoria. Teorian mukaan vaurioitumisen katsotaan tapahtuvan, kun vesi jäätyessään laajenee ja aiheuttaa hydraulisen paineen huokoisen materiaalin huokosrakenteessa. Paine syntyy, kun veden täyttämän kapillaarihuokosen vedestä osa jäätyy ja laajenee samanaikaisesti jäätyttömän veden puristuessa huokosesta pois. Veden siirtyminen aiheuttaa materiaaliin paikallisia sisäisiä jännityksiä, jolloin materiaalin lujuus voi ylittyä ja syntyä säröilyä (Powers 1949).

Muita tunnettuja pakkasrapautumisen teorioita ovat mm:

- Litvanin teoria, jonka mukaan pienempien, adsorptiohuokosten, vesi alkaa jäätymä vasta likimain -15 ... -20 °C lämpötilassa (Pigeon & Pleau 1995)
- Osmoottisen paineen teoria (Pigeon & Pleau 1995)
- Jääkiteiden kasvun teoria (Powers & Helmuth 1953)
- Kriittisen vedellääytymisasteen teoria (Fagerlund 1977)
- Jään lämpölaajenemisen aiheuttama paine (Penttala 1998).

Huokoisen materiaalin jäätymisprosessi on varsin kompleksinen ja monimuuttujainen, joten useat kehitetyt teoriat ja mallit ovat toisiaan tukevia ja täydentäviä (Fagerlund 1997).

## Mikrobiologiset vaurioitumisprosessit

### Mikrobit

Mikrobit ovat yleisnimi bakteereille, home- ja hiivasienille sekä viruksille. Mikrobeja esiintyy normaalisti suurina määrinä ulkoilmassa ja ne ovat tärkeä osa luonnon kiertokulkua. Valtaosalla väestöstä on melko hyvä vastustuskyky ulkoilmassa yleisesti esiintyville mikrobilajeille.

Rakennusten ja sisäilma-asioiden yhteydessä mikrobeilla tarkoitetaan yleisesti homesienten ja eräiden bakteerilajien kasvua rakennusmateriaalissa tai rakenteiden pinnoilla. Kosteusvaurioituneet rakennusmateriaalit poikkeavat kasvuolosuhteiltaan normaaleista luonnon olosuhteista ja siksi kosteusvaurioituneissa rakenteissa kasvaa-kin yleensä erilaisia mikrobeja, kuin mihin ihminen on luonnossa tottunut. Lisäksi ns. kosteusvaurioindikoivat mikrobit tuottavat keskimääräistä todennäköisemmin myrkyllisiä yhdisteitä, eli ns. mykotoksiineja.

Rakennuksissa ihminen altistuu melko pitkiä aikoja altistumisen tason ollessa kuitenkin niin alhainen, että elimistön puolustusjärjestelmät eivät kunnolla aktivoitu. Vaikkakaan rakennetussa ympäristössä esiintyvien terveyshaittojen lääketieteellinen mekanismi ei ole vielä tarkemmin tunnettu, eikä terveyshaittaa siten voida suoraan arvioida, niin ympäri maailmaa on saatu vahvaa tutkimuksellista näyttöä siitä, että jotkin rakennuksissa kasvaviin mikrobeihin liittyvät tekijät aiheuttavat ihmisten oireilua ja jopa vakavia sairauksia. Eri lähteissä onkin esitetty arvioita, että huonon sisäilman aiheuttamat kustannukset ovat Suomessa noin 3 miljardia euroa vuodessa (Asumisterveysohje 2003, Salkinoja-Salonen 2002).

### Lahottaj sienet

Lahottaj sienet ovat mikrobeihin luettavia homesieniä kehittyneempiä sieniä, jotka pääsääntöisesti vaativat homeita korkeamman kosteuspitoisuuden ja pidemmän ajan. Ensin pinnoille kehittyvät homesieniä jotka muuttuvat ns. sinistäjä sieniksi ja olosuhteiden jatkuessa riittävän kosteina lopuksi lahottaj sieniksi. Lahottaj sienet pystyvät hajottamaan tehokkaasti puun rakennetta ja siten ne vaikuttavat rakenteiden lujuuteen.

### Julkisivupintojen homehtuminen

Pääosa mikrobiongelmista liittyy johonkin rakenteen toimivuuspuutteeseen tai erityiseen kosteusvaurioitilanteeseen. Rakennuksen julkisivuilla, tuuletusraoissa, tuulettuvissa ullakoissa ja ryömintätiloissa vaurioituminen voi olla seurausta puhtaasti ilman liiallisesta suhteellisesta kosteudesta. Rungas mikrobikasvu rakenteiden pinnoilla voi aiheuttaa asumisviihtyvyyttä heikentävää hajua vaikka mikrobilajisto ei olisikaan erityisen haitallisena pidettyä.

Julkisivuissa mikrobikasvustoa esiintyy yleisimmin puujulkisivujen maalipinnoissa, joissa maalien vähentyneet biosidi-pitoisuudet ovat heikentäneet niiden kykyä vastustaa mikrobien kasvua. Rungas mikrobikasvusto näkyvillä pinnoilla aiheuttaa vähintäänkin ulkonäöllisen ongelman, mutta samalla se heikentää maalipinnan kes-



tävyyttä ja vaikeuttaa pintojen uudelleen kunnostamista. Ennusteiden mukainen viistosateen lisääntyminen ja talvien leudontuminen tulee vääjäämättä lisäämään jo nyt paikoitellen ongelmalliseksi noussutta maalipintojen homehtumista.

### **Betonielementtien eristetilan homehtuminen**

Betonielementin eristetilä ei ole otollinen alusta mikrobikasvustolle mm. ravinnoksi kelpaavan materiaalin vähäisyyden ja alkalisten pintojen vuoksi, mutta mikäli sopivat kosteusolosuhteet vaikuttavat riittävän pitkänä ajanjaksoina, niin eristetilaan voi syntyä haitalliseksi tunnettujen mikrobien kasvustoja. Eristetilasta haitalliset yhdisteet voivat kulkeutua ilmavirtausten mukana sisäilmaan, jos ilmavirtausta sisäkuoren läpi tai rakenteiden liitoskohdissa esiintyy. Tästä syystä on tärkeää estää kosteuden pääsy elementin eristetilaan ja tehdä myös elementin sisäkuori tiiviiksi. 1990-luvun lopulla tehdyn laajan tutkimuksen mukaan mikrobikasvusto suomalaisissa betonielementtirakenteissa oli kuitenkin vielä melko harvinaista. Viimevuosien aikana kentältä kantautuneiden tietojen perusteella myös mikrobivaurioituneiden betonielementtien määrä on ollut kasvussa leutojen talvien ja sateisten syksyjen myötä, mutta tutkittua tietoa asiasta ei ole (Suonketo et al. 1999).

## 4 Betonijulkisivut ja -parvekkeet

### 4.1

#### Vaurioituminen

Säälle alttiissa betonirakenteissa voi erilaisten olosuhde- ja muiden rasitustekijöiden vaikutuksesta tapahtua muutoksia, jotka heikentävät rakenteen ominaisuuksia ja aiheuttavat siten eriasteista korjaustarvetta. Rakenteiden kunnossapidon kannalta on oleellista selvittää, mitkä eri vauriotavat voivat vaikuttaa missäkin rakenteessa.

Betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa esiintyvät tyypilliset korjaustarvetta aiheuttavat tekijät (vaurioitumistavat) voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

- betonissa olevien terästen korroosio
- betonin rapautuminen
- kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen heikkeneminen
- rakenteiden kosteustekniset toimivuuspuutteet
- pintatarvikkeiden vaurioituminen (tiili- ja klinkkerilaatat)
- pintakäsittelyjen vaurioituminen
- betonin halkeilu ja rakenteiden muodonmuutokset
- käytön aiheuttama vaurioituminen
- terveydelle ja ympäristölle haitallisten aineiden esiintyminen.

Betonirakenteiden keskeisimpiä korjaustarpeita aiheuttavia vauriotapoja, niiden etenemiseen vaikuttavia tekijöitä ja vaikutuksia on seuraavassa tarkasteltu Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat -tutkimukseen perustuen (Lahdensivu et al. 2010).

#### 4.1.1

##### Raudoitteiden korroosio

BeKo-tietokannan mukaan betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa raudoitteiden korrosiovauriot ovat aiheutuneet lähes yksinomaan betonin karbonatisoitumisen seurauksena, korroosion kannalta kriittinen määrä klorideja ylittyi vain neljässä kohteessa yli 900:stä. Betonin karbonatisoituuessa korroosio alkaa ensin lähimpänä ulkopintaa olevissa raudoitteissa. Eniten julkisivut saavat kosteusrasitusta yläosiinsa, joten korroosionopeus on siellä suurinta. Parvekerakenteissa raudoitteiden korroosio on yleisintä pielielementtien pieliteräksissä.

## Betonijulkisivut

Nykyisessä rakennuskannassa betonin keskimääräinen karbonatisoituminen on edennyt 1990 valmistuneissa julkisivuelementeissä 8 mm:n syvyydelle ja 1970 valmistuneissa keskimäärin 16 mm:n syvyydelle. Betonin karbonatisoitumisnopeudella on huomattavan suurta vaihtelua julkisivun pintatyyppin mukaan. Tämän lisäksi vaihtelu on suurta myös elementtityyppien sisällä.

Korjaustavan valinnan kannalta julkisivun raudoitteiden pienten, alle 10 mm peitepaksuuksien osuutta on pidetty ratkaisevana. Raudoitteiden peitepaksuuksissa on suurta vaihtelua julkisivun pintatyyppin mukaan. Alle 10 mm:n peitepaksuuksia on tyyppillisesti 5–10 % kaikista julkisivun raudoitteista.

## Betoniparvekkeet

Betoni karbonisoituu nopeimmin laatan alapinnasta, koska alapinnan maali on yleisesti hyvin huokoista ja läpäisevää eikä betonin huokosverkosto ole voinut täytyä sadevedestä, jolla on karbonatisoitumista hidastava vaikutus. Muut parveke-elementit ja -pinnat ovat tyyppillisesti maalattuja, joten maalikalvo on ainakin uutena ja ehjänä muodostanut hiilidioksidin diffuusiota hidastavan kerroksen betonin pintaan.

Karbonatisoituminen on saavuttanut laattojen alapintojen teräksiä laajalti koko BeKo-tietokannan parvekkeissa. Tyyppillisesti 50–80 % 1970- ja 1960-lukujen parveke-laattojen alapintojen teräksistä sijaitsee karbonisoituneessa betonissa. Betonilaatan alhaisesta kosteuspitoisuudesta johtuen raudoitteiden korroosio on kuitenkin ollut hidasta.

Vuonna 1980 rakennetun betoniparvekkeen kaiteen ja pieliementin keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on tällä hetkellä noin 12–14 mm. Vastaavasti vuonna 1990 rakennetussa parvekkeessa keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on nyt noin 9–12 mm. Karbonatisoituminen on saavuttanut jo laajasti 1960- ja 1970-lukujen pieli- ja kaide-elementtien raudoitteita, jossa korroosio on siten käynnissä.

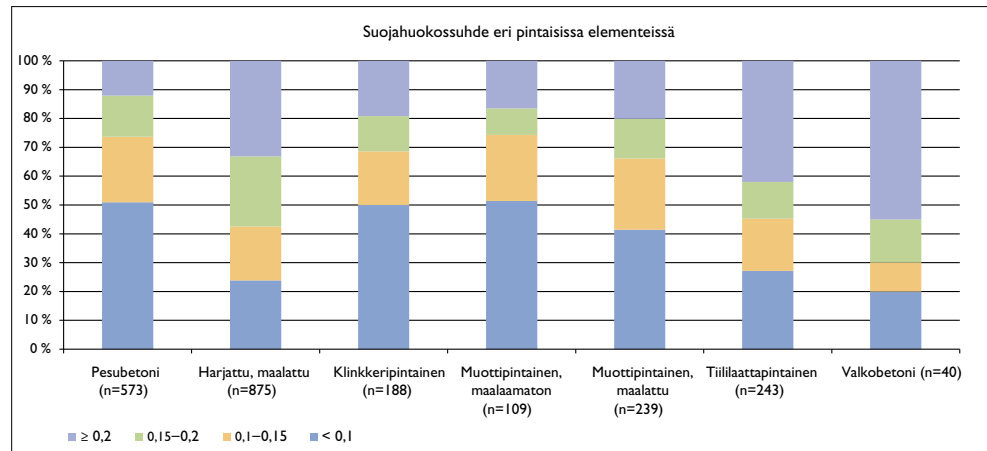
## Ohjeistuksen vaikutus

Betonirakenteiden säilyvyysohjeiden BY 32 (1992) peitepaksuusvaatimus on ollut 20–25 mm betonin lujuudesta riippuen. On huomattavaa, että vain harvoissa tapauksissa julkisivubetonin karbonatisoituminen on edennyt näin syvälle rakenteeseen. Ja vielä harvemmin yli 15 mm:n syvyydellä, halkaisijaltaan 4–10 mm olevat raudoitteet ovat aiheuttaneet näkyviä korroosioaurioita julkisivuihin. Ohjeistuksen mukaan raudoitteiden tulisi sijaita kautta linjan syvemmillä rakenteessa, jolloin karbonatisoituminen ei olisi vielä edennyt niihin saakka muualla kuin parvekelaattojen alapinnoissa.

Betonijulkisivujen raudoituksessa on yleisesti siirrytty ns. ruostumattomiin raudoitteisiin 2000-luvun alkuvuosina. Ruostumattomien raudoitteiden käyttö alkoi jo 1990-luvun lopulla valmistuneiden rakennuttajien kohteissa. Raudoitteiden pienet peitepaksuudet eivät siten enää uudemmassa rakennustuotannossa ole merkittävä korjausprosessin käynnistäjä julkisivujen osalta. Parvekerakenteissa sen sijaan käytetään raudoituksena edelleen tavanomaisia raudoitteita, jolloin terästen riittävät peitepaksuudet ovat niissä edelleen merkittävä todellisen käyttöikänsä parametri.

## Betonin pakkasrapautuminen

Sekä betonijulkisivujen että parvekkeiden pakkasenkestävyys on varsin puutteellinen. BeKo-tietokannan mukaan 59 % parvekkeista ei ole ollenkaan kosteusrasituksen toimivaa suojahuokostusta. Vain 10 % parvekkeista täyttää betoninormien vaatimuksen  $pr \geq 0,20$ . Julkisivujen eri pintatyyppien osalta tilanne on kuvan 11 mukainen.



Kuva 11. Suojahuokossuhdejakaumat eri julkisivupintatyypeissä (Jokela 2008).

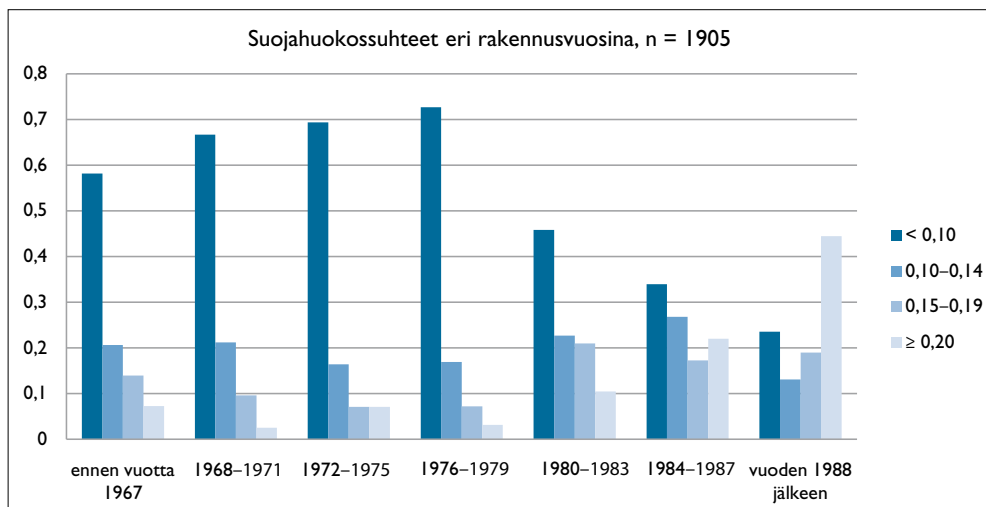
Parhaiten betonin huokostus on onnistunut maalipintaisessa harjatussa betonissa sekä tiililaattapintaisessa ja valkobetoni-julkisivuissa. Näissä betoninormien vaatimuksen  $pr \geq 0,20$  ylittää 32 %, 41 % ja 54 % näytteistä vastaavassa järjestyksessä.

Tyypillisintä pakkasrapautuminen on pesubetonijulkisivuissa. Pesubetonin pinnassa ei ole sadeveden imeytymistä hidastavia kerroksia kuten maalipintaa tai tiili- ja klinkkerilaattoja, joten betonin huokosverkosto myös kastuu sateella helposti. Pesubetonijulkisivuissa esiintyy eniten sekä paikallisia että laaja-alaisia pakkasrapautumavaurioita muihin julkisivutyyppeihin verrattuna.

## Ohjeistuksen vaikutus

Betonin pakkasenkestävyysvaatimukset ovat muuttuneet 1960-luvulta tähän päivään merkittävästi. Pakkaskestävyyden parantamispyrkimysten suhteen merkittäviä vuosia ovat olleet 1976, jolloin annettiin ohjeistus ulko-olosuhteille altistuvien betonirakenteiden lisähuokostamisesta sekä 1980, jolloin lisähuokostuksen testaus ohjeistettiin betonirakentamista ohjaaviin betoninormeihin.

BeKo-tietokannan perusteella lisähuokostuksen käyttöönotto ulko-olosuhteille altistuvissa betonirakenteissa voidaan havaita alkavan hitaasti vuodesta 1976 lähtien. Vasta vuoden 1981 jälkeen betonin lisähuokostus alkaa vakiintua betonielementti-tuotannossa.



Kuva 12. Parvekerakenteiden suojahuokossuhteet nelivuotiskausittain jaoteltuna BeKo-tietokannan perusteella (Weijo 2008).

#### 4.1.3

### Muut vauriomekanismit

#### Julkisivut

BeKo-tietokannan mukaan sandwich-elementtien tyypillisin ulkokuoren kiinnitystapa on teräsansas, jonka diagonaalit ovat  $\varnothing 5$  mm ruostumatonta terästä 1970 ja sitä uudemmissa rakennuksissa. Saman aikakauden kuorielementtien kiinnityksissä on käytetty yleisesti ruostumatonta teräsosia. 1960-luvun rakennuksissa on esiintynyt enemmän variaatioita ulkokuoren kiinnityksessä ja kiinnikkeet ovat usein olleet tavallista seostamatonta terästä, joiden korroosiosuojaus on tehty sementtivelliin kastamalla, bitumoimalla tai ne ovat rakenteessa paljaaltaan. Nämä kiinnikkeet ovat olleet usein paksun ruosteen peitossa, mutta teräksen halkaisija ei ole pienentynyt kuin enintään 1 mm.

Julkisivun ulkokuorien kiinnitysvarmuus on yleisesti ollut hyvä, kiinnitysvarmuus on tietokannan mukaan ollut puutteellinen vain yksittäistapauksissa ja niissäkin lähinnä betonin pitkälle edenneen laaja-alaisen pakkasrapautumisen vuoksi. Kuorielementeissä yleisesti esiintyvä voimakas kaareutuminen ei siten ole välttämättä merkki laajasta ja pitkälle edenneestä pakkasrapautumisesta, varsinkaan klinkkeri- ja tiililaattapintaisissa rakennuksissa, joissa kaareutuminen aiheutuu tyypillisesti kutistumaeroista.

Julkisivujen saaman kosteusrasitustason arvioimiseksi kuntotutkimuksessa kiinnitetään huomiota elastisten saumojen sekä erilaisten liitosten ja pellitysten kuntoon ja toimivuuteen. Tiili- ja klinkkerilaattojen irtoaminen samoin kuin julkisivun maali-pinnan huono kunto eivät ole yleensä johtaneet rakenteen korjaamiseen niiden betonirakennetta suojaavasta vaikutuksesta huolimatta. Vaurioituneen pintakäsittelyn seurauksena betoni on usein saanut paikallisesti korkeampaa kosteusrasitusta, jolloin raudotteiden korroosiovauriot sekä pakkasrapautuminen etenevät näillä kohdin muuta rakennetta nopeammin.

## Parvekkeet

Yleisimmin elementtiparvekkeet on tuettu kantavien pieliseinien, pilarien tai ulkoseinän kantavan ulkokuoren välityksellä perustuksilleen. Näin muodostuva parveketorni voi olla rakennuksen julkisivulinjasta ulkoneva tai sisäänvedetty. Parveketornit on sidottu sivusuunnassa kaatumisen estämiseksi kerroksittain pieliseinistään poikittaisiin väliseiniin tai parvekelaatoista välipohjalaattoihin. Sidonta poikittaisiin väliseiniin on tehty hitsausliitoksin esimerkiksi lattateräsosien (ruostumattomiakin lattateräksiä on käytetty) tai harjaterästankojen avulla. Seostamattomien kiinnikkeiden eristetilassa oleva osuus voi olla esimerkiksi betonoitu. Parvekelaatan ja välipohjan välinen sidonta on voitu tehdä ulkoseinän läpi menevillä latta- tai pyöröteräskiinnikkeillä (esimerkiksi ruostumaton teräs) tai parvekesaranoilla (ruostumaton tai kuumasinkitty teräs). Omilta perustuksiltaan tuetuissa parvekkeissa ei ole esiintynyt rakenteiden kiinnitysvarmuuteen liittyviä puutteita kuin muutamissa yksittäistapauksissa. Näissä on ollut kyse betonin pitkälle edenneestä pakkasrapautumasta.

Parvekerakenteiden tyyppillisin kosteustekninen toimivuuspuute liittyy parvekkeen vedenpoistojärjestelmään, joka valuttaa tai on valuttanut aiemmin pitkään vettä parvekepielen etureunaan aiheuttaen paikallisesti korkeaa kosteusrasitusta. Tästä syystä pielen etureunojen pieliteräksissä esiintyy yleisesti korroosiovaurioita sekä paikallista pakkasrapautumaa.

Tämän lisäksi parvekkeiden pieli- ja laattaelementtien välisiä laastisaumoja rikkovat yleisesti elementtien asennuksessa käytetyt vaneriset tai metalliset korkolaput. Sekä laasti- että elastisten saumojen eheys ja korjaukset ovat tärkeitä rakenteiden kuivana pysymisen ja vaurioitumisnopeuden hidastamisessa. Parvekkeiden laastisaumojen pinnat tulee korjausten yhteydessä muuttaa ulkopinnoiltaan elastisiksi.

Parvekelaattojen yläpinnan tiivis maalipinta toimii usein ainoana parvekkeen vedeneristyksenä. Laatan alapinnassa oleva parvekkeen kantavuuden kannalta oleellinen raudoitus on tyyppillisessä 1970-luvun ja sitä vanhemmassa parvekkeessa jo nyt karbonatisoituneessa betonissa ja siten korroosiotilassa. Korroosio on kuitenkin huomattavan hidasta, mikäli betonin kosteuspitoisuus on riittävän alhaisella tasolla. Vesivuodot laatan läpi sekä veden valuminen laatan reunan yli aiheuttavat lisäävät oleellisesti laatan alapinnan terästen korroosionopeutta.

### 4.2

## Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen

Esitetyillä ilmastonmuutosskenaarioilla on vain haitallisia vaikutuksia nykyisen betonijulkisivu- ja -parvekekannan vaurioitumisen suhteen. Sekä raudoitteiden korroosio että betonin pakkasrapautuminen ovat riippuvaisia betonin kosteuspitoisuudesta, joka ennusteiden mukaan tulee kasvamaan.

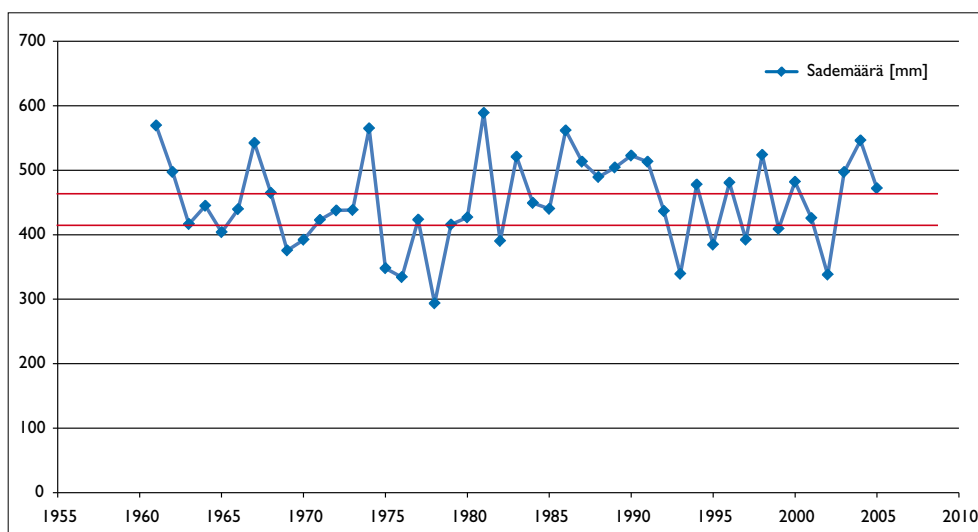
### Raudoitteiden korroosio

Karbonatisoituneessa betonissa olevan teräksen korroosionopeus riippuu betonin kosteuspitoisuudesta. Betonin suhteellisen kosteuden ylittäessä 85 % korroosiono-

peus kasvaa noin 10 kertaiseksi verrattuna alempaan kosteuspitoisuuteen. Ja kosteuspitoisuuden kasvaessa korroosionopeus kasvaa edelleen logaritmisesti (Tuutti 1982).

TTY:n Rakennustekniikan laitoksen tutkimuksessa Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa (Mattila & Pentti 2004) mitattiin eri tavoin suojattujen sekä suojaamattomien betonirakenteiden sisällä olevien terästen korroosionopeutta. Tutkimuksessa havaittiin, että vuonna 2000 terästen syöpymissyvyys oli lähes kolminkertainen verrattuna vuoden 2001 mittauksiin.

Kuvassa 13 on esitetty vuosien 1961–2005 vetenä tai räntänä tulleen sateen määrä Ilmatieteen laitoksen Jyväskylän lentoaseman mittauspisteessä. Kuvaajassa alempi punainen vaakaviiva kuvaa sitä sademäärätasoa, jonka alapuolella em. tutkimuksessa korroosionopeus on ollut melko alhainen ja ylempi vaakaviiva sitä sademäärätasoa, jolloin korroosionopeus on ollut lähes kolminkertainen edelliseen vuoteen verrattuna.



Kuva 13. Vetenä tai räntänä tulleet vuosisateet Jyväskylän lentoasemalla vuosina 1961–2005 (Ilmatieteen laitos). Alemman vaakaviivan alapuolella vuosittainen terästen korroosio on ollut hidasta ja ylempään vaakaviivan yläpuolella vastaavasti nopeaa.

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan sateisuus ja tuulisuus kasvavat, jolloin betonijulkisivuille sekä parvekepinnoille sataa entistä enemmän vettä. Nykyilmastossa suurimmat sateet tulevat kesällä, jolloin rakenteen kuivuminen on nopeampaa. Ennusteiden mukaan tulevaisuudessa talvisateiden osuus kasvaa ja lämpenemisen johdosta sade tulee nykyistä enemmän vetenä tai räntänä, jolloin se voi kapillaarisesti imeytyä betonin huokosverkostoon. Samanaikaisesti kuivumisolosuhteet huononevat, joten betonirakenteiden kosteuspitoisuudet tulevat olemaan nykyistä korkeammalla tasolla. Tästä on seurauksena karbonatisoituneessa betonissa olevien terästen korroosion nopeutuminen.

Raudoitteiden korroosio on merkittävä ongelma 1965–1989 rakennetuissa betonijulkisivuissa, koska teräkset ovat työvirheiden seurauksena usein liian lähellä ulkopintaa. Korroosioauriot tulevat lisääntymään erityisen nopeasti sellaisilla julkisivuilla, jotka tähän mennessä ovat saaneet vähän saderasitusta. Talvisateet ovat tulleet pääosin pohjoisen suunnalta ja lumena, jolloin sillä ei ole ollut vaikutusta

pohjoisjulkisivujen raudoitteiden korroosioon. Mikäli talvisateet tulevat nykyistä enemmän joko vetenä tai räntänä myös pohjoisesta, lähellä pintaa olevien terästen korroosio tulee lisääntymään merkittävästi.

1990-luvulla rakennetuissa betonijulkisivuissa säilyvyyteen on kiinnitetty enemmän huomiota ja teräkset ovat yleisesti syvemmällä rakenteessa. Ruostumattomien raudoitteiden käyttö alkoi hitaasti 1990-luvun puolivälissä ja yleistyi 2000-luvun alussa. Ruostumattomien terästen kohdalla pienet peitepaksuudet eivät aiheuta korroosioaurioita.

Parvekerakenteissa peitepaksuudet ovat olleet pieniä kaikissa elementtityypeissä, joten korroosioauriot tulevat olemaan niiden ongelmana myös tulevaisuudessa. Parvekkeissa ei ole yleisesti siirrytty käyttämään ruostumattomia teräksiä, joten peitepaksuuksiin tulee kiinnittää huomiota myös tulevaisuudessa.

### Betonin pakkasrapautuminen

Betonin pakkasrapautuminen on hitaasti etenevä prosessi, joka alkaa huokosrakenteen sisäisenä säröilynä. Siinä vaiheessa, kun rapautuminen näkyy silmämääräisesti havaittavana vaurioitumisena, rapautuminen on edennyt rakenteen sisällä tyypillisesti jo useita vuosia. Pakkaskestävyys on erittäin huono ennen vuotta 1981 rakennetuissa betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa, joista keskimäärin 70 % on täysin pakkaskestämättömiä. BeKo-tutkimuksen mukaan pakkasrapautumaa esiintyy eniten pesubetonijulkisivuissa sekä parvekepielten etureunoissa. Nykyisessä ilmastossa pakkasrapautuminen on ollut nopeinta aivan rannikon tuntumassa, jossa saadaan eniten viistosadetta. Tämän lisäksi tuolla alueella on enemmän jäätymissulamissyklejä vuodessa kuin sisämaassa ja Pohjois-Suomessa.

Betonin huokosverkoston tulee olla täyttynyt yli kriittisen vedelläkyllästysasteen ennen jäätymistä (Fagerlund 1977). Kuivassa betonirakenteessa ei tapahdu pakkasrapautumista. Ilmatieteenlaitoksen mittauksista voidaan havaita, että vetenä tai räntänä tulevat sateet keskittyvät tyypillisesti etelä-länsisuuntiin, ks. kuva 7. Ilmatieteen laitoksen mittauksista on myös mahdollista laskea vuosittaiset jäätymissulamissyklit sekä jääty miskerrat sateen jälkeisinä päivinä. Näistä tiedoista on mahdollista saada käsitys todellisista pakkasrasitustasoista eri paikkakunnilla. Kaikki betonin huokosrakenteessa oleva vesi ei jäädy heti 0 °C alapuolella. Ensin jäätyy ns. gravitaatiohuokosten vesi ja sen jälkeen lämpötilan laskiessa pienempien huokosten vesi. Useimmissa tapauksissa pakkasrapautumiseen vaaditaan alle -5 ... -10 °C lämpötiloja betonirakenteessa.

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan Sisä-Suomen sääolosuhteet muuttuvat nykyisten rannikko-olosuhteiden kaltaisiksi seuraavan 30–50 vuoden kuluessa ja Pohjois-Suomessa vuosisadan loppuun mennessä. Tämän seurauksena 1960- ja 1970-lukujen betonirakenteiden pakkasrapautumavauriot tulevat lisääntymään merkittävästi sisämaassa seuraavien vuosikymmenten aikana. Talvisateiden lisääntyessä ja muuttuessa vetisemmiksi pakkasrapautumista tulee esiintymään enemmän ja myös sellaisilla julkisivuilla, jotka tähän mennessä ovat saaneet vähemmän saderasitusta tai sade on tullut lähinnä lumena.

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan Etelä-Suomeen ennustetaan tulevan keski-eurooppalainen ilmasto vuosisadan loppuun mennessä. Betonirakenteiden pakkasrapautumisen kannalta tämä tarkoittaa siinä vaiheessa olosuhteiden helpottumista.



## Korjaus- ja suojausmahdollisuudet

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjaustavat on yleisesti jaettu kolmeen pääluokkaan, jotka ovat:

- paikkaus- ja pinnoitustyyppiset korjaukset
- vaurioituneen rakenteen verhoukorkorjaukset sekä
- vaurioituneen rakenteen purkaminen ja uusiminen.

Näihin korjausperiaatteisiin voi liittyä myös muita ns. liittyviä korjauksia, joilla pienennetään korjatulle rakenteelle tulevaa saderasitusta. Tällaisia korjauksia voivat olla esim. elastisten saumojen uusiminen, vedenpoistojärjestelmän toiminnan parantaminen tai ulkonevien räystäiden rakentaminen.

### Ulkonäön säilyttävät korjaukset


Rakennuksen ulkonäön säilyttävät ns. kevyet paikkaus- ja pinnoituskorjaukset ovat soveltuvia sellaisille rakenteille, joissa vaurioituminen on vasta alkanut ja on vielä paikallista. Säilyttävä korjaus on perusteltua myös sellaisissa tapauksissa, joissa vaurioita ei vielä ole nähtävissä, mutta niitä on tulevaisuudessa odotettavissa esimerkiksi betonin puutteellisen pakkasenkestävyyden vuoksi tai terästen pienten peitepaksuuksien johdosta. Tyypillisesti tällaisia ovat betoniparvekkeet sekä maalipintaiset betonijulkisivut.

Sisä- ja Pohjois-Suomen rakennukset ovat tähän mennessä altistuneet pienemmälle saderasitukselle ja jäätymissulamissykleille kuin rannikkoalueilla. Suojaavilla pinnoituskorjauksilla olisi mahdollista torjua ilmastonmuutoksen vaikutuksia parvekkeissa ja maalatuilla julkisivuilla ja näin saada niille lisää käyttöikää tulevasta räsitus-tason kasvamisesta huolimatta.

Kaikille julkisivupinnoille ei ole mahdollista tehdä ulkonäön säilyttäviä korjauksia yhtä helposti. Esimerkiksi pesubetonijulkisivun tai vanhan klinkkerilaattapintaisen julkisivun laastipaikkaus kohteessa, jossa on korkeat ulkonäkövaatimukset, on äärimmäisen haastavaa. Pesubetonijulkisivua, kuten ei myöskään klinkkeripintaista julkisivua ole mahdollista maalata suojaavalla pinnoitteella. Säilyttävien korjausten tekemahdollisuutta voidaan arvioida mm. taulukon 1 avulla.

Suojaavilla pinnoitteilla on mahdollista alentaa merkittävästi betonirakenteen kosteuspitoisuutta, jolloin terästen korroosionopeus on alhainen ja betonin kriittinen vedelläkyllästysaste ei täyty. Huolellisesti tehdyillä laastipaikkauksilla sekä suojaavilla pinnoitteilla on mahdollista lisätä vanhan betonirakenteen käyttöikää yli 30 vuotta (Mattila & Pentti 2004).

Taulukko I. Säilyttävien korjausten hyväksyttävän ulkonäön saavuttamiseen vaikuttavia asioita (Varjonen et. al. 2006).

	Olemassaolevat ja odotettava vaurioituminen	Säilyttämisen vaikeus betonipinnan tyypistä riippuen
 VAIKEUSASTE KASVAA	<p><b>Ei olemassaolevia tai odotettavia vaurioita</b>            Rapautuminen:            • betoni on pakkasenkestävää            • ei alkali-kiviainesreaktiota            Korroosio:            • betonipeite on riittävä ja            • betoni ei sisällä klorideja</p> <p>Ei rakenteellisia ongelmia</p> <p><b>Vain paikallisia olemassaolevia tai odotettavia vaurioita</b>            • ts. vaurioituminen ei odoteta laajenevan tulevaisuudessa</p> <p><b>Vaurioituminen on mahdollista, mutta laaja-alaista näkyvää vaurioitumista ei vielä esiinny. Ei rakenteellisia ongelmia</b>            Rapautuminen:            • betoni ei ole pakkasenkestävää ja/tai            • alkali-kiviainesreaktio on mahdollinen            Korroosio:            • betonipeite on riittämätön ja betoni on pitkälle karbonatisoitunut ja/tai            • betoni sisältää klorideja lähellä pintaa</p> <p>Laaja-alaisia vaurioita ja/tai vakavia rakenteellisia ongelmia</p>	<p>Maalattu muottipintainen betoni            Julkisivun betonipinta voidaan pinnoittaa</p> <p><b>Pintastruktuurit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinnoittamaton muottipintainen betoni</li> <li>• Harjattu betonipinta</li> <li>• Pesubetoni</li> <li>• Keraamiset laatat tai tiilet</li> <li>• Pinnoittamaton väribetoni</li> <li>• Kuvioitu betonipinta</li> <li>• Erikoiset betonipinnan muotoilut</li> </ul>

Parvekelaatan yläpinta on tyypillisesti maalattu tiiviillä maalilla, joten karbonatisoituminen yläpinnassa on ollut vastaavasti hidasta. Laatan yläpinnan maalikalvon ehjänä pysyminen on ensiarvoisen tärkeää laatan kosteuspitäisyyden pitämiseksi alhaisena. Parvekelaatan kosteuspitäisyys ja erityisesti vesivuodot laatan läpi vaikuttavat oleellisesti laatan alapinnan raudotteiden korroosionopeuteen. Tästä syystä parvekelaattojen yläpinta usein vedeneristetään sekä laastisaumojen pintaosa muutetaan elastiseksi parvekekorjausten yhteydessä.

Ulkonäön säilyttävillä korjauksilla tavoitellaan yleensä varsin lyhyttä käyttöikää, luokkaa 15–25 vuotta. Huolellisesti tehdyillä laastipaikkauksilla sekä suojaavilla pinnoitteilla on kaikki mahdollisuudet saavuttaa myös pidempi, luokkaa 30–40 vuotta oleva käyttöikä.

### Peittävät korjaukset

Mikäli betonirakenteiden vaurioituminen on edennyt niin pitkälle, että säilyttävät korjaukset eivät ole enää taloudellisesti järkeviä, eikä niillä ole mahdollista saavuttaa korjaukselta tavoiteltavaa käyttöikää, on käytettävänä erilaisia peittäviä korjausvai-

toehtoja. Peittäviin korjauksiin kuuluu tyypillisesti julkisivujen kohdalla lisälämmöneristys, jonka tärkeimpänä tehtävänä on ollut vaurioitumisen pysäyttäminen tai ainakin merkittävä hidastaminen. Varsin todennäköisesti lisälämmöneristyksellä haetaan tulevaisuudessa edellisen lisäksi myös rakennukselle parempaa energiatehokkuutta.

Nykyisin peittävän korjauksen tavoitteellisena käyttöikä on pidetty 30–50 vuotta. Ns. peittäviä korjauksia on tehty myös ennen nykyuotoisen korjausrakentamisen kehittymistä eli ennen 1990-luvun alkupuolta. Tällöin peittävän korjauksen tarkoituksena oli lähinnä piilottaa näkyvät vauriot uudella verhourakenteella. Tällaisten korjausten käyttöikä on jäänyt tyypillisesti hyvin lyhyeksi, luokkaa 10 vuotta, sillä vaurioituminen on usein jatkunut verhouksen takana.

## Purkaminen ja uudelleenrakentaminen

Julkisivujen osalla uusimisella tarkoitetaan korjaustapaa, jossa vanha betonin ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan kauttaaltaan pois, ja ulkoseinään asennetaan uudet lämmöneristeet sekä uusi pintaverhourakenne. Julkisivujen uusimisessa yleisesti käytettyjä verhourakenteita ovat:

- eristerappaus
- levyverhous
- muuraus
- kuorielementit.

Parvekkeissa purkaminen ja uudelleenrakentaminen voi olla myös osittaista, lähinnä betonikaiteen osalla, jos pieli- ja laattaelementit ovat vielä tarpeeksi hyväkuntoisia ja korjattavissa laastipaikkaustekniikoin.

Yleensä purkutarvetta aiheuttavat tietyt betonirakenteiden vauriomekanismit, jos ne ovat edenneet erittäin pitkälle (esimerkiksi erittäin pitkälle edennyt betonin pakkasrapautuminen, ulkokuoren kiinnityksen vaurioituminen ja lämmöneristeissä esiintyvät laajat tai runsaat mikrobikasvustot). Toisaalta purkamiseen voidaan päätyä myös, jos korjaukselta halutaan erityisen pitkää käyttöikää tai jos halutaan poistaa varmuudella vanhassa rakenteessa piilevät viat ja vauriot. Toisaalta purkavat korjaukset soveltuvat käytettäväksi yleensä myös silloin, kun verhoukorkorjaukset eivät sovellu käytettäväksi rakennepaksuuden kasvamisen vuoksi.

Purkamisen yhteydessä voidaan parantaa ulkoseinän lämmöneristävyttä huomattavasti. Korjattavan ulkoseinärakenteen lämmöneristävyys pyritään purkavissa korjauksissa yleensä saattamaan nykyisten lämmöneristysmääräyksien tasolle.

# 5 Puhtaaksimuuratut julkisivut

5.1

## Vaurioituminen

### Massiiviset tiilimuurit

Karkeasti ennen vuotta 1945 rakennetuissa rakennuksissa julkisivuina on eri paksuisia massiivisia tiilimuureja. Massiivisten muurien tiilet ovat poltettuja savitiiliä, joiden polttoaste ja siten mm. säänkesto-ominaisuudet ovat varsinkin vanhemmissa rakennuksissa vaihdelleet huomattavan paljon. Vanhimmissa puhtaaksimuuratuissa rakennuksissa 1900-luvun toiselle vuosikymmenelle saakka käytettiin pääasiassa ulkomaisia tiiliä niiden paremman laadun vuoksi (Lahti 1960). Kotimainen tiilivalmistus siirtyi tehtaisiin ja paikallaan pysyviin polttouuneihin pääosin 1920-luvulle tultaessa (Kuokkanen & Leiponen 1981). Vanhojen massiivitiilimuurien julkisivuun on pyritty valikoimaan ns. parempia ja tasaisesti poltettuja tiiliä, jotka ovat rakenteessa kestäneet hyvin nykyistä rasisitustasoa.

Massiivisissa tiilimuureissa käytetty laasti on alkuaan ollut kalkkilaastia ja 1900-luvun alkupuolelta saakka tyypillisesti varsin kalkkipitoista kalkkisementttilaastia. Muuraus on suoritettu ns. täyteen saumaan, eli julkisivussa näkyvä laastisauma on muotoiltu samasta muurauslaastista millä tiilet on kiinnitetty toisiinsa. Varsinaisesta muurauslaastista poikkeavat värilliset saumat on tehty poikkeuksetta jälkisaumauksena värjättyllä laastilla, jolloin varsinainen muuraus on jätetty yleensä 10–20 mm vajaaksi.

Massiivisten tiilimuurien tyypillisin vauriomekanismi on ollut muurauslaastin pintaosan pakkasrapautuminen 10–30 mm:n syvyydelle. Pakkasrapautumaa esiintyy erityisesti jälkisaumatuissa laasteissa. Tiilien pakkasenkestävyys on yleisesti ollut kohtalaisen hyvä, laaja-alaista pakkasrapautumaa esiintyy harvoin ja tällöinkin kyseessä on yleensä ollut poikkeuksellisen ankara säärasitus. Rakennusten yläosien ja erilaisten ulokkeiden muurauslaastin pakkasrapautumisen seurauksena reunimmaisat tiilet ovat usein varsin heikosti kiinni muurauksessa.



Kuva 15. Tiilimuurin rapautunutta jälkisaumausta. Epäyhtenäinen ja tiilestä irti oleva saumalaasti mahdollistaa sadeveden esteettömän pääsyn tiilen vaakapinnalle, jossa vedenimukyky ja -nopeus ovat julkisivupintaa suuremmat.

Paikallista ja yksittäisten julkisivutiilien ulkopinnan rapautumista esiintyy lähes jokaisessa rakennuksessa. Tosin näiden rakennusten keskimääräinen käyttöikä on tällä hetkellä jo noin 100 vuotta. Paikallisia pitkälle edenneitä pakkasvaurioita ovat aiheuttaneet huonosti toimivat detaljit ja puutteelliset pellitykset sekä erityisesti huonosti toimivat vedenpoistojärjestelmät, jotka huonon kiinteistönpidon seurauksena ovat kasteleet seinärakennetta useita vuosia. Tällaisissa pitkään jatkuneissa vuotokohdissa seinärakenne on usein märkä jopa sisäpintaan saakka.

## Kuorimuurit ja lämmöneristetyt massiivimuurit

Osassa etenkin jälleenrakennuskauden rakennuksia on massiivisessa tiilimuurissa käytetty myös kennotiiliä tai ohutta lämmöneristettä, kuten Toja-levyä tai korkkia, joiden tarkoitus on ollut parantaa seinän lämmöneristävyyttä. Tällöin julkisivupinnan muodostavat tiilet ovat kylmemmissä olosuhteissa kuin vanhemmissa massiivisissa tiilimuureissa olevat tiilet. Ulko-osan tiilien rasiutus on varsinaisten kuorimuurien kaltainen, vaikka rakenteessa ei yleisesti ole käytetty tuuletusrakoa.

1960-luvulla rakennetuissa rakennuksissa on käytetty yleisimmin ns. kylmiä kuorimuureja, jotka on muurattu yleisimmin tehdaspoltetuista savitiilistä tai kalkkihiekkakivistä. Alkujaan kuorimuurit muurattiin suoraan kiinni lämmöneristekerrokseen, joka oli pehmeää mineraalivillaa. Rakenteeseen kertyvää kosteutta pyrittiin varsin nopeasti vähentämään tuuletusraon avulla, joka kuorimuurirakenteessa yleistyi 1970-luvulla. Tuuletusraon leveyttä on ohjeistuksessa kasvatettu kaiken aikaa, ol- len nykyisin 40 mm. Leveällä tuuletusraolla on pyritty varmistamaan tuuletusvälin avoimuus sekä muurauslaastin pysyminen irti lämmöneristeistä ja tuulensuojarakenteista.

Kuorimuureissa käytetty laasti sekoitettiin työmaalla muuraussementistä, hiekasta ja vedestä. Laastin pakkasenkestävyyteen vaikuttivat lähinnä laastin lujuus (sementin määrä) sekä sekoitusaika. Pitkällä sekoitusajalla oli mahdollista saada ilmaa jäämään tuoreeseen laastiin. Teollisesti valmistetut ns. valmislaastit, joihin lisätään työmaalla vain vesi, yleistyivät 1980-luvulla. Näissä tuotteissa pakkasenkestävyyden varmistamiseen käytettiin jo lisähuokostusaineita, jotka reagoivat veden kanssa. Kuorimuurin värilliset saumat tehtiin pitkään jälkisaumauksena värillisellä saumauslaastilla. Värilliset muurauslaastit yleistyivät vasta 1980-luvun lopulla, jolloin sauma muotoiltiin valmiiksi muurauksen yhteydessä.

Kuorimuurit on sidottu runkorakenteeseen messingistä, kuparista, muovista sekä sinkitystä tai ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla muuraussiteillä, joita on rakenteessa käytetty vaihtelevia määriä. Puurunkoisissa pientaloissa tyypillisin muurausside on ollut sinkitty naula. Kuorimuurissa on käytetty raudoitteita liike-erojen tasaamiseen sekä aukkojen ylityspalkeissa. Tyypillisesti raudoitteet ovat olleet tavanomaista harjaterästä, ruostumattomat raudoitteet ovat yleistyneet vasta 1990-luvulla, samoin teollisesti valmistetut aukkojen ylityspalkit.

Kuorimuurin tyypillisin vauriomekanismi on muuraus- ja saumalaastin pintaosan pakkasrapautuminen 10–20 mm:n syvyydelle. Pakkasrapautumaa esiintyy erityisesti korkeiden rakennusten runsasta saderasitusta saavien julkisivujen yläosissa. Tiilien ja kalkkihiekkakivien pakkasenkestävyys on yleisesti ollut hyvä, pakkasrapautumaa esiintyy eniten erittäin vaaleissa tiilissä, joiden lujuus on jo lähtökohtaisesti alhainen verrattuna punatiiliin. Laastin rapautumisen seurauksena kuorimuurin puristusjän-



Kuva 16. Kuorimuurin laastin pakkasrapautumisen seurauksena muurin jännitystila ja hoikkuus kasvavat, mikä on otettava huomioon kantavuustarkasteluissa. Kuorimuurin raudoitteiden korroosio rikkoo laastipeitettä aina 20 mm:n syvyydeltä saakka.

nitystaso sekä hoikkuus kasvavat, koska muurin painoa kantava pinta-ala pienenee. Kuorimuurin hoikkuuden kasvaminen vaikuttaa rakenteen stabiiliuteen ja siten myös kantavuuteen.

Laasti karbonatisoituu huokoisena ja vähemmän karbonatisoituvia yhdisteitä sisältävänä materiaalina huomattavasti betonia nopeammin, jolloin teräksiä korroosiolta suojaava korkea alkalisuus laskee nopeammin kuin betonirakenteessa ja korroosio voi alkaa. Kuorimuurirakenteen tiilien huokoisuus on huomattavan suuri ja pääosin kapillaarisella alueella, jolloin muurattu rakenne myös läpäisee kosteutta nopeasti ja suuria määriä verrattuna betonirakenteeseen. Karbonatisoituneessa laastissa olevien terästen korroosionopeus on näin melko suuri.

Muuratuissa rakenteissa käytetyn laastin lujuus on tyypillisesti suhteellisen alhainen betonin lujuuteen verrattuna, joten raudoitteiden korroosion edetessä korroosiotuotteiden aiheuttama sisäinen paine rikkoo laastipinnan melko nopeasti.

Kuorimuurirakenteita esiintyy paljon myös kerrostalojen päädyissä, joissa ns. ikkunajulkisivut ovat joko levy- tai betonirakenteisia. Näitä kuorimuureja ei ole kuitenkaan peruskorjattu siinä määrin kuin esim. betonijulkisivuja. Vaurioituminen on aiheutunut pääosin huonosti toimivista detaljeista tai puutteellisista pellityksistä.

## Ohjeistuksen vaikutus

Muurauslaastien pakkasenkestävyydelle ei ole rakentamismääräyksissä esitetty varsinaisia vaatimuksia. Yleensä muurauslaasteille on sovellettu betonin sekä rappauslaastien testaustapoja, ks. rapatut julkisivut.

Tiilien pakkasenkestävyyden testaamiseen on olemassa standardoidut testit, joita on käytetty 1970-luvulta saakka. Suomalaiset poltetut tiilet ovat yleisesti hyvin pakkasenkestäviä.

## Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan sateisuus ja tuulisuus kasvavat, jolloin puhtaaksimuuratuille julkisivuille sataa entistä enemmän vettä. Sekä raudoitteiden korrosio että tiilien ja laastin pakkasrapautuminen ovat riippuvaisia huokoisen materiaalin kosteuspitoisuudesta, joka ennusteiden mukaan tulee kasvamaan. Saumalaastin rapautuessa myös tiilet kastuvat enemmän, koska sadevettä pääsee enemmän suoraan tiilen saumapinnalle, joka on imukykyisempi kuin tiilen julkisivupinta. Pakkasrapautumisen suhteen tilanne on samantyyppinen kuin betonijulkisivuilla, koska vauriomekanismi on samanlainen.

Pakkasenkestävyydeltään huonoin tilanne on rakenteissa, joiden laasteissa ei ole käytetty teollisesti valmistettuja laasteja eikä näin ollen myöskään lisähuokostimia. Näiden ennen 1980-lukua valmistuneiden kohteiden pakkasenkestävyydessä on siten erittäin suurta hajontaa.

Nykyilmastossa suurimmat sateet tulevat kesällä, jolloin rakenteen kuivuminen on nopeampaa. Ennusteiden mukaan tulevaisuudessa talvisateiden osuus kasvaa ja lämpenemisen johdosta sade tulee nykyistä enemmän vetenä tai räntänä, jolloin se voi kapillaarisesti imeytyä tiilen ja muurauslaastin huokosverkostoon. Samanaikaisesti kuivumisolosuhteet huononevat, joten muurattujen rakenteiden kosteuspitoisuudet tulevat olemaan nykyistä korkeammalla tasolla. Kuorimuurin heikentyneiden kuivumismahdollisuuksien seurauksena myös tuuletusraon kosteuspitoisuus kasvaa. Tämän seurauksena rakenteen sisällä homeen kasvulle suotuisten olosuhteiden ajankaksot pitenevät. Homeenkasvusta voi olla erityistä haittaa rakenteelle (esimerkiksi puurunkoiset pientalot) sekä rakennuksen sisäilmalle vaipparakenteen ilmapuotojen kautta.

Talvisateiden lisääntyessä ja muuttuessa vetisemmiksi pakkasrapautumista tulee esiintymään enemmän ja myös sellaisilla julkisivuilla, jotka tähän mennessä ovat saaneet vähemmän saderasitusta tai sade on tullut lähinnä lumena.

### Raudoitteiden korrosio

Raudoitteiden korrosio on kuorimuurirakenteissa merkittävä ongelma 1980-luvun loppuun saakka, koska raudoitteina on käytetty yleisesti tavanomaista harjaterästä, terästen sijainti on usein liian lähellä ulkopintaa sekä muurauslaastin raudoitteiden korrosiolta suojaava alkalisuus häviää karbonatisoitumisen seurauksena nopeasti. Korrosiovauriot tulevat lisääntymään erityisen nopeasti sellaisilla julkisivuilla, jotka tähän mennessä ovat saaneet vähän saderasitusta. Talvisateet ovat tulleet pääosin pohjoisen suunnalta ja lumena, jolloin sillä ei ole ollut vaikutusta pohjoisjulkisivujen raudoitteiden korrosioon. Mikäli talvisateet tulevat nykyistä enemmän joko vetenä tai räntänä myös pohjoisesta, lähellä pintaa olevien terästen korrosio tulee lisääntymään merkittävästi.

1990-luvulla rakennetuissa kuorimuureissa säilyvyyteen on kiinnitetty enemmän huomiota ja raudoitteet ovat yleisesti ruostumatonta terästä, jolloin korroosiosta ei enää aiheudu ongelmaa.

## Korjaus- ja suojausmahdollisuudet

Puhtaaksimuuratujen julkisivujen kuntotutkimuksessa saatujen rakenteiden vauriotilaa kuvaavien tietojen perusteella voidaan valita soveltuvat korjausmenetelmät sekä arvioida niihin liittyviä riskejä ja korjauksen käyttöikä. Rakenteiden vaurioitumisasteen ja vaurioiden laajuuden mukaan käytettävänä on seuraavia korjaustapoja (Haukijärvi et al. 2009):

- rapautuneiden saumojen uusiminen
- tiilimuurin rappaus ja pintakäsittely
- vaurioituneen rakenteen verhoukorkorjaukset sekä
- vaurioituneen rakenteen purkaminen ja uusiminen.

Näihin korjausperiaatteisiin voi liittyä myös muita ns. liittyviä korjauksia, joilla pienennetään korjatulle rakenteelle tulevaa saderasitusta. Tällaisia korjauksia voivat olla esim. vedenpoistojärjestelmän toiminnan parantaminen tai ulkonevien räystäiden rakentaminen.

### Ulkonäön säilyttävät korjaukset

Laastisaumojen uusiminen on tiilijulkisivun osittain säilyttävä korjaustapa. Laastisaumat uusitaan vaurioituneilta alueilta kokonaisuudessaan noin 20–40 mm syvyyteen saakka riippuen sauman leveydestä ja siitä, onko tiilimuri jälkisaumattu vai ei. Laastisaumojen uusiminen soveltuu käytettäväksi sellaisilla julkisivuilla tai julkisivunosilla, joissa erillisen saumalaastin tai muuraussauman pintaosan vaurioituminen on edennyt pitkälle, mutta tiilissä on vain hyvin vähän tai ei ollenkaan vaurioita. Vaurioitumisen on yleensä aiheuttanut laastin puutteellinen pakkasenkestävyys tai paikalliset kosteustekniset toimivuuspuutteet.

Yleisimmin paikkauskorjauksiin johtaa saumaustaastin puutteellinen pakkasenkestävyys, kosteusteknisesti huonosti toimivat detaljit ja/tai suojaavien pellitysten vaurioituminen tai niiden puuttuminen kokonaan. Kosteusteknisten toimivuuspuutteiden korjaaminen sekä julkisivun kosteusrasitustason alentaminen erilaisilla suojaavilla pellityksillä ja vedenpoiston toimivuutta parantamalla on korjauksen käyttöään kannalta keskeisessä asemassa.

### Tiilimuurin rappaus ja pintakäsittely

Puhtaaksimuuratun tiilijulkisivun rappaamista ja pintakäsitlemistä rakenteen kosteusrasitustasoa alentavalla pinnoitteella voidaan käyttää huonosti pakkasenkestävän tiilimuurin kosteusrasitustasoa alentavana korjauksena, jolloin tiilimuurille saadaan lisää käyttöikä. Rappaus peittää tiilijulkisivun, joten julkisivujen ilme muuttuu.

Yleisimmin paikallisten rapautumavaurioiden syynä ovat tiilien ja laastin puutteellinen pakkasenkestävyys sekä kosteuden kannalta huonosti toimivat yksityiskohdat. Alustaa suojaavan rappausten tulee mielellään olla paksuhko kalkkisementttilaasteilla toteutettu kolmikerrosrappaus. Jos rappausalusta on niin luja, että rappauksessa voidaan käyttää sementtipitoisia laasteja, rappaus voidaan myös käsitellä vettähylki-



vällä mutta vesihöyryä hyvin läpäisevällä maalilla. Vanhan tiilimuurin kosteusrasitustasoa alentavan rappauksen ja suojaavan pinnoitteen tavoitteellisena käyttöikäenä voidaan pitää 30–50 vuotta.

Kosteusteknisten toimivuuspuutteiden korjaaminen sekä julkisivun kosteusrasitustason alentaminen erilaisilla suojaavilla pellityksillä ja vedenpoiston parannuksilla on korjauksen käyttöiän kannalta keskeisessä asemassa. Tiilimuurin kosteusrasitustason alentavan rappauksen ja pintakäsittelyn käyttöikä riippuu rakenteen rasitustasosta, rappauskerroksen paksuudesta ja pintakäsittelyn ominaisuuksista. Rappauksen alustana toimivan vanhan tiilimuurin pakkasenkestävyys ei korjauksessa parane, mutta sen kosteusrasitustasoa voidaan alentaa merkittävästi.

## Peittävät korjaukset

Mikäli tiilijulkisivun vaurioituminen on edennyt niin pitkälle, että säilyttävät korjaukset eivät ole enää taloudellisesti järkeviä, eikä niillä ole mahdollista saavuttaa korjaukselta tavoiteltavaa käyttöikää, on käytettävänä erilaisia peittäviä korjausvaihtoehtoja. Peittäviin korjauksiin kuuluu tyypillisesti julkisivujen kohdalla lisälämmöneristys, jonka tärkeimpänä tehtävänä on ollut vaurioitumisen pysäyttäminen rakenteita kuivattamalla tai ainakin merkittävä hidastaminen. Varsin todennäköisesti lisälämmönerityksellä haetaan tulevaisuudessa edellisen lisäksi myös rakennukselle parempaa energiatehokkuutta. Peittävän korjauksen tavoitteellisena käyttöikäenä on pidetty 30–50 vuotta.

Vanha kuorimuurin voidaan myös poistaa kokonaan ja korvata esimerkiksi eristerappauksella.

## Vaurioituneen rakenteen purkaminen ja uusiminen

Tiilimuurin uusimisen syynä voivat olla lähinnä tiilen ja/tai muurauslaastin rapautuminen, kuorimuurin halkeilu tai eristetilan mikrobikasvu. Tiilimuurin uusimista voidaan tehdä massiivitiiliseinissä osittain ja kuorimuurissa joko kokonaan tai osittain. Muurin kokonaan uusiminen vastaa uudisrakentamista, joten käyttöikä tavoite tulee asettaa 50–100 vuoteen.

Uusien tiilien käyttäminen osana vanhaa tiilimuuria voi vaikuttaa oleellisesti rakennuksen ulkonäköön. Erityisesti vaaleissa julkisivuissa uudet tiilet erottuvat helposti vanhoista puhtaampina. Korvaavien uusien tiilien saatavuus saattaa olla haasteellista erityisesti vanhoissa julkisivuissa.

## 6 Rapatut julkisivut

6.1

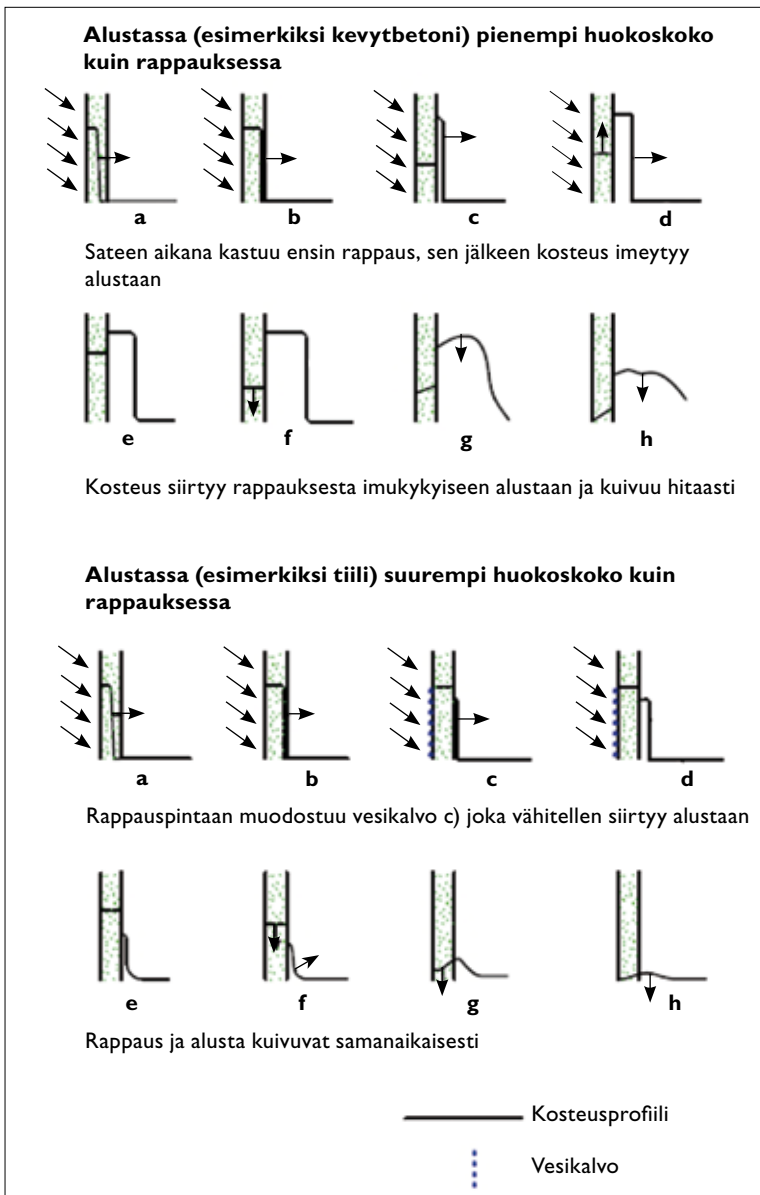
### Vaurioituminen

#### Rappaukset kovilla alustoilla

Rapattu julkisivu on ollut tyypillinen asuinrakennuksissa aina 1960-luvulle asti. Rappausta voidaan pitää perinteisenä julkisivupintana, koska sen perusrakenteet ja materiaalit ovat pysyneet samanlaisina pitkään.

Vanhojen rakenteiden rappaukset ovat yleensä kolmikerrosrappauksia, joiden paksuus vaihtelee tyypillisesti 20–50 mm välillä julkisivun koristeellisuudesta riippuen. Ohuempia kaksikerrosrappauksia on yleisimmin käytetty teollisuusrakennusten seinissä. Kolmi- ja kaksikerrosrappaukset ovat kumpikin alustan kokonaan peittäviä sekä alustan vedenimuominaisuuksia tasaavia rappauksia. Ns. koviille alustoille tehtävistä yksikerrosrappauksista on käytetty lukuisia eri nimityksiä, kuten kuultorappaus tai slammaus. Näille kaikille yksikerrosrappauksille on yhteistä, että ne tehdään yhdellä laastityypillä ja rappausalusta näkyy rappauskerroksen alta jollakin tavalla. Yksikerrosrappauskerroksen paksuus vaihtelee tyypillisesti välillä 0,5–2 mm (Rappauskirja 2005).

Kuva 17. Rapattujen seinien kosteuden muutokset voimakkaan sateen aikana (Sandin 1980).



Rappaus on perinteisesti tehty muuratun rakenteen päälle. Tiilet ovat yleensä poltettuja ns. punatiiliä. Myös muun tyyppisiä alusrakenteita on käytetty, joista yleisimpiä ovat kevytbetoni-, betoni- sekä erilaiset kevytsoraharkot.

Rappauslaasteina on käytetty kalkkilaasteja, kalkkisementttilaasteja ja uusissa rakennuksissa, lähinnä ohuissa rappauksissa sementtilaasteja. Vanhimmat rappaukset 1900-luvun alkupuolelle saakka ovat yleensä puhtaita kalkkilaasteja, myöhemmin rappauslaasteina on käytetty pääasiassa kalkkisementttilaasteja.

Vanhat kalkkirappaukset on perinteisesti pinnoitettu kalkkimaalilla. Myös kalkkisementtirappauksen pinnoilla kalkki- ja kalkkisementtimaalit ovat olleet yleisiä. Kalkkisementtirappauksilla julkisivun viimeistely ulkonäkö on voitu tehdä myös värillisillä pintarappauslaasteilla eli ns. jalolaasteilla.

Rapatun julkisivun korjaustarpeeseen johtavia syitä voivat olla (Haukijärvi et al. 2009):

- laastien rapautuminen
- rappauksen irtoaminen alustastaan (kopoutuminen)
- rappauksen halkeilu
- rappausalustan vaurioituminen
- kosteustekniset toimivuuspuutteet
- koristeosien vaurioituminen
- pintakäsittelyn vaikutus rappauksen vaurioitumiseen.

**Laastin rapautuminen.** Rappauslaastit altistuvat voimakkaalle kosteus- ja pakkasrasitukselle. Ne ovat huokoisia materiaaleja, joihin voi imeytyä vettä. Jäätyessään vesi laajenee ja saattaa rikkoa laastin rakennetta. Rappauslaastien pakkasenkestävyyteen vaikuttaa niiden huokosrakenne. Jos huokosrakenne on sellainen, että rappauskerros on jäätyessään kauttaaltaan veden täyttämä, laasti rapautuu varmasti.

**Rappauksen irtoaminen alustastaan (kopoutuminen).** Rappauskerrosten irtoaminen alustastaan on tyypillinen rappausvaurio. Tartunnan pettäminen voi johtua laastin vaurioitumisesta, työvirheestä tai rappausalustan vaurioitumisesta. On huomattava, että kaksi- ja kolmikerrosrappauksissa pienialainen tartunnan pettäminen ei aiheuta välttämättä korjaustarvetta, jos tähän ei liity rappauksen halkeilua. Sen sijaan yksikerrosrappauksessa rappauksen kopoutuminen tarkoittaa tällaisen alueen varsin nopeaa putoamista alas.

**Rappauksen halkeilu.** Haitallisia rappausalustaan ulottuvia halkeamia voi muuratuissa ulkoseinissä ilmetä esimerkiksi perustusten epätasaisen painumisen vuoksi. Lisäksi harkko- ja kuorimuurirakenteissa halkeamia voi syntyä lämpötila- ja kosteusmuodonmuutosten aiheuttamien pakkovoimien takia. Jonkin verran ilmenee myös yläpohjan tasolla olevia vaakahalkeamia kylmän ja lämpimän muurin rajakohdassa. Vain rappauskerrokseen ulottuvien halkeamien aiheuttajia voivat olla mm. rappauksen kuivumiskutistuminen tai irtoaminen alustastaan.

**Alustan vaurioituminen.** Rappausalustana on useimmiten muurattu tiili- tai harkkoseinä. Muurattujen seinien materiaalit ovat pakkasenkestävyydeltään yleensä suhteellisen heikkoja ja laadun vaihtelu on suurta erityisesti vanhoissa tiiliseinissä. Muurattujen rakenteiden massiivisuudesta johtuva suuri kosteuskapasiteetti ja nopea kuivuminen voivat kuitenkin mahdollistaa pitkän käyttöiän suhteellisen ankarissakin olosuhteissa. Pakkasrasituksen ankaruuteen vaikuttavat ilmasto-olojen ja rakennuk-

sen korkeuden ja sijainnin ohella rakenteelliset seikat: rakennetyyppi ja paksuus, räystäät ja muut yksityiskohdat, halkeamat ja pintakäsittelyt. Alusta voi vaurioitua myös halkeilun seurauksena (ks. rappauksen halkeilu).

**Kosteustekniset toimivuuspuutteet.** Rappauksen pintakäsittelyn tyyppillä on kosteusteknisen toimivuuden kannalta oleellinen merkitys. Pintakäsittelyn tulee olla mahdollisimman vesihöyryä läpäisevä, jotta rakenteen kuivuminen olisi mahdollista. Pintakäsittelyn lisäksi erilaisten saumojen ja liitosten toimivuudella on myös keskeinen vaikutus koko rakenteen kestävyysasteeseen. Rakenteisiin mahdollisesti liittyvät tarvikkeet, kuten valaisimet, kyltit, johdot, rasiat jne. vaikuttavat turmeltumiseen ohjaamalla sadevettä, mistä saattaa aiheutua kosteusvaurioita ja likaantumista.

**Koristeosien vaurioituminen.** Varsinkin vanhemmissa rapatuissa julkisivuissa on käytetty usein erilaisia koristeellisia, usein kipsistä valmistettuja osia. Koristeosat ovat voineet vaurioitua esimerkiksi alustan halkeamien tai kiinnitysosien heikkene-  
misen seurauksena. Koristeosien vaurioituminen voi aiheuttaa merkittävän turvallisuusrisikin joskus suurtenkin putoavien kappaleiden vuoksi.

**Pintakäsittelyn vaikutus vaurioitumiseen.** Orgaaniset julkisivupinnoitteet olivat yleisiä 1960- ja 1970-luvuilla myös rappauksen pintakäsittelyissä, koska niillä saatiin tasainen lopputulos ilman härme- ja kirjavuusriskiä. Niitä käytettiin vanhojenkin rapattujen julkisivujen uudelleenpinnoituksiin suoraan vanhan kalkkimaalin päälle. Pienelläkin sateella sadevesitiiviiden maalien pintaan muodostuu pintaa pitkin gravitaation ja tuulen vaikutuksesta liikkuva vesikalvo. Sadevesi pääsee imeytymään kapillaarisesti rappauskerrokseen maalipinnan epäjatkuvuuskohdista. Kosteuden poistuminen rappauksen huokosverkostosta tapahtuu hyvin hitaasti, koska käytetyt orgaaniset maalit ovat myös hyvin vesihöyrytiiviitä. Tästä on monissa vanhoissa rappauksissa aiheutunut vuosien saatossa huomattavan paljon rappauksen rapautumavaurioita. Orgaanisten julkisivupinnoitteiden käyttöä ei siis voi pitää suositeltavana.



Kuva 18. Eristerappauksen nurkka on vaurioitunut kolhun seurauksena.

Epäorgaaniset maalit, kuten kalkki-, kalkkisementti- ja silikaattimaalit ovat ns. vesihöyryavoimia, eli ne eivät estä sadeveden pääsyä rappauskerrokseen eivätkä myöskään hidasta rappauksen kuivumista sateen jälkeen. Tästä syystä epäorgaanisia maaleja on pidetty pitkäikäisinä sekä turvalisina käyttää erityisesti kalkki- ja kalkkipitoisten rappauksen pintakäsittelyissä.

### Eristerappaukset

Rapattuja julkisivuja ei tehty käytännössä ollenkaan 1970- ja 1980-luvuilla, jotka olivat betonielementtirakentamisen aikakautta. Kun rapattuja julkisivuja alettiin enenevässä määrin tehdä uudelleen 1990-luvulla ja erityisesti 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä, pääsuuntaus oli lämmöneristeen päälle tehtävät ns. eristerappaukset. Eristerappauksen käytön yleistymisen alkoi betonijulkisivujen peittävien korjausten myötä, vaikka niitä on ollut käytössä Suomessa jo 1970-luvulta saakka. Eristerappauksia käytetään nykyisin yleisesti myös uudisrakentamisessa (BY 46 Rappauskirja 2005).

Eristerappausjärjestelmät ovat materiaalivalmistajien kehittämiä kokonaisuuksia, joissa eri materiaalit on valittu toisiinsa sopiviksi. Eristerappauksia on kahta tyyppiä (BY 57 Eriste- ja levyrappaus 2010):

- paksurappaus-eristejärjestelmä, noin 20–25 mm paksu levymäisen mineraalivillan päälle tehty ja mekaanisin kiinnikkein alustaan kiinnitetty rappaus
- ohutrappaus-eristejärjestelmä, noin 5–10 mm paksu levy- tai lamellieristeen päälle tehty, yleensä laastitartunnalla alustaan kiinnitetty rappaus.

**Paksurappauksen laastit** ovat joko sementti- tai kalkkisementtilaasteja. Metalliverkolla lujitettu rappaus kiinnitetään alustaan metallisin kiinnikkein ja lämmöneristeet ovat aina levymäistä mineraalivillaa. Lämmöneristeistä ei aiheudu rappauskerrokseen mekaanista rasitusta. Paksurappauksen vaurioituminen aiheutuu yleisimmin laastin puutteellisesta pakkasenkestävyydestä. Tyypillisimmin vauriot keskittyvät eniten saderasitusta saaviin julkisivun osiin sekä huonosti toimivien detaljien läheisyyteen. Yleisimmin laastit ovat lisähuokostettuja, joten vaurioituminen on aiheutunut tavallista korkeammasta ja/tai pitkäaikaisesta kosteusrasituksesta tai lisähuokostuksen epäonnistumisesta.

Paksurappauksissa käytetään liikuntasauvoja, joiden avulla rappauksen liikkeet pyritään keskittämään haluttuihin kohtiin. Tästä huolimatta paksurappauksien tyypillinen halkeilu keskittyy aukkojen nurkkiin, joista varsin usein voidaan havaita kapeat halkeamat 45° kulmassa.

**Ohutrappauksen laastit** ovat tyypillisesti sementtilaasteja, jotka sisältävät valmistajakohtaisesti vaihtelevia määriä polymeerejä. Ohutrappaukset pinnoitetaan varsin yleisesti vettä hylkivällä mutta vesihöyryä hyvin läpäisevällä pinnoitteella. Sementtipitoinen pohjarappaus on varsin usein huokoinen ja imee kapillaarisesti paljon vettä. Ohutrappauksen tyypillinen vaurioitumismekanismi on pohjarappauksen pakkasra-pautuminen. Pohjarappaukseen pääsee vettä pinnoitteen epäjatkuvuuskohdista, joita on tyypillisimmin erilaisten aukkojen pielissä sekä rakenteiden liitoksissa. Erityisen vuotoherkkä kohta on ikkunan vesipellin liitos, joka on usein seurausta työvirheistä.

Ohutrappauksen alustana on joko mineraalivillaa (lamelli- tai levyeriste) tai solumuovieriste, joka on yleisimmin EPS. Ohutrappauksissa ei yleisesti ole tarvetta liikuntasauvoille, sillä rappauksen mekaaninen toiminta perustuu rappauksen tarttumiseen eristeeseen kauttaaltaan. Tästä huolimatta ohutrappauksissa esiintyy aukkojen pielissä vastaavaa halkeilua kuin paksurappauksissa rappauslaastin estetyn kutistuman seurauksena.

## Ohjeistuksen vaikutus

Rappauslaastien pakkasenkestävyydelle ei ole rakentamismääräyksissä esitetty varsinaisia vaatimuksia. Rappauslaastien pakkasenkestävyysvaatimuksena jäädytyslatuskokeessa (-20 °C ... +20 °C) on esitetty BY 46 Rappauskirja 2005:ssä seuraavaa:

- tavanomainen rasitus, 50 kierrosta
- voimakas rasitus, 100 kierrosta
- erityisrasitus, määritetään tapauskohtaisesti.

Laastien pakkasenkestävyyden testaamiseen on annettu ensimmäinen yhtenäinen ohjeistus BY 46 Rappauskirja 2005:ssä.

Ohutrappauksien pakkasenkestävyydentestaamiselle on esitetty vaatimuksia ETAG 004:ssä. Suomen olosuhteisiin kyseiset testit ja vaatimukset eivät kuitenkaan ole millään tavalla riittäviä.

## 6.2

### **Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen**

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan sateisuus ja tuulisuus kasvavat, jolloin rapatuille julkisivuille sataa entistä enemmän vettä. Sekä pinnoitteiden, rappausten että alustan (koviin) pakkasrapautuminen ovat riippuvaisia huokoisen materiaalin kosteuspitouudesta, joka ennusteiden mukaan tulee kasvamaan.

Pakkasenkestävyydeltään huonoin tilanne on rappauksissa, joissa ei ole käytetty teollisesti valmistettuja laasteja eikä näin ollen myöskään lisähuokostimia. Näiden ennen 1980-lukua valmistuneiden rappausten sekä rappauskorjausten pakkasenkestävyydessä on siten erittäin suurta hajontaa.

Puhtaat kalkkilaastit ja kalkkipitoiset kalkkisementtilaastit kestävät alhaisen lujuuden vuoksi pakkasrasitusta selvästi vähemmän kuin sementtipitoiset laastit. Vanhojen rakennusten rappaukset ovat siten suurimmassa vaarassa pakkasrapautumisen suhteen. Tällaisten, usein suojeltujen rakennusten julkisivurappausten uusimistiheys tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Jo nykyisessä ilmastossa tavallista enemmän vetenä tai räntänä satavien talvien seurauksena voidaan havaita merkittävää vaurioitumisen lisääntymistä. Vanhojen rakennusten rappaukset ovat siten erittäin herkkiä talvisten vesi- ja räntäsateiden sekä jäätymissulamissykliin lisääntymiselle.

Nykyilmastossa suurimmat sateet tulevat kesällä, jolloin rakenteen kuivuminen on nopeampaa. Ennusteiden mukaan tulevaisuudessa talvisateiden osuus kasvaa ja lämpenemisen johdosta sade tulee nykyistä enemmän vetenä tai räntänä, jolloin se voi kapillaarisesti imeytyä rappauslaastin ja rappausalustan huokosverkostoon. Samanaikaisesti kuivumisolosuhteet huononevat, joten rapattujen julkisivujen kosteuspitouudet tulevat olemaan nykyistä korkeammalla tasolla. Talvisateiden lisääntyessä ja muuttuessa vetisemmiksi pakkasrapautumista tulee esiintymään enemmän ja myös sellaisilla julkisivuilla, jotka tähän mennessä ovat saaneet vähemmän saderasitusta tai sade on tullut lähinnä lumena.

### **Rappausten halkeilu**

Rappausten halkeilulla on suuri merkitys rappausten kastumiseen. Halkeilu lisää rappausten saamaa kosteusrasitusta erityisesti halkeamien ympäristössä. Tiiviillä orgaanisilla pinnoitteilla maalattujen rappausten kastuminen halkeamien kautta on johtanut kosteuskertymiin rappauksessa ja rappausalustassa sekä tämän seurauksena laaja-alaiseen pakkasrapautumiseen. Epäorgaanisilla maaleilla käsitellyissä rappauksissa halkeilun vaikutus kosteuskertymiin on kuitenkin merkittävästi vähäisempi kuin orgaanisilla pinnoitteilla, sillä rappaus pystyy kuivumaan hyvin avohuokoisten maalikerrosten läpi.

Rappausten halkeilu on suuri riski ohutrappausten pohjalaastin pakkasenkestävyyden ja siten koko rappauskerroksen käyttöiän suhteen. Sateisuuden lisääntyessä

myös pohjarappaukseen kertyvän veden määrä lisääntyy ja pakkasrapautumisen riski kasvaa. Huonosti pakkasta kestävien ohutrappauksen käyttöikä tulee jäämään odotettua lyhyemmäksi rappauskerroksen halkeilun johdosta.

### 6.3

## Korjaus- ja suojausmahdollisuudet

Rapattujen julkisivujen kuntotutkimuksessa saatujen rakenteiden vauriotilaa kuvaavien tietojen perusteella voidaan valita soveltuvat korjausmenetelmät sekä arvioida niihin liittyviä riskejä ja korjauksen käyttöikä. Rakenteiden vaurioitumisasteen ja vaurioiden laajuuden mukaan käytettävänä on seuraavia korjaustapoja (Haukijärvi et al. 2009):

- pinnoituskorjaus
- paikkaus- ja pinnoituskorjaus
- rappauksen purkaminen ja uusiminen
- peittävä korjaus sekä
- rappausalustasta aiheutuneiden vaurioiden korjaus.

Näihin korjausperiaatteisiin voi liittyä myös muita ns. liittyviä korjauksia, joilla pienennetään korjatulle rakenteelle tulevaa saderasitusta. Tällaisia korjauksia voivat olla esimerkiksi vedenpoistojärjestelmän toiminnan parantaminen tai ulkonevien räystäiden rakentaminen.

### Rappauksen pintakäsittelyt

Pintakäsittelyillä on suuri vaikutus sekä rakenteen kastumiseen että kuivumiseen. Pintakäsittelyjen vedenhylkivyyys ja vesihöyrynvastukset vaihtelevat pintakäsittelyn tyyppin ja tuotteen mukaan suuresti.

Kalkki-, kalkkisementti- ja sementti- sekä silikaattipinnoitteiden käyttö rappauspinnoilla on yleensä turvallista. Nykyisin myös hyvin vesihöyryä läpäisevien siliikonihartsipinnoitteiden käyttö rappauspinnoilla on yleistynyt. Sen sijaan tiiviiden pinnoitteiden käyttö on kokemusten mukaan voinut nopeuttaa heikkojen rappauksen rapautumista, sillä tiivis pinnoite aiheuttaa paikallisen kosteuspitoisuushuipun pinnoitteen epäjatkuvuuskohtiin, eli rappauksen halkeamien kohdille. Tiivis pintakäsittely hidastaa rappaukseen päässeen veden poistumista. Tästä on seurauksena pinnoitteen irtoaminen ja rappauksen pakkasrapautuminen.

Julkisivurappausa suojaavia pinnoitteita ovat likaantumista ja töhryjen tarttumista vähentävät suoja-pinnoitteet sekä rappauksen kastumista sadevedestä vähentävät impregnointiaineet. Näillä on erilainen suojaustarkoitus ja täten myös erilaiset toimintaperiaatteet. Heikoilla sekä kalkkipitoisilla ja huonosti pakkasenkestävillä rappauksilla impregnointiaineiden ja julkisivun kastumista vähentävien pinnoitteiden käyttäminen saattaa aiheuttaa julkisivurappaukseen pakkasrapautumaa, mikäli pinnoitteen tai impregnointiaineen vesihöyryn läpäisevyys ei ole riittävän suuri. Yleisesti kalkki- ja kalkkipitoisilla kalkkisementtilaasteilla rapattuihin julkisivuihin ei suositella käsittelyä impregnointiaineilla.

## Paikkaus- ja pinnoituskorjaus

Paikkauskorjaus soveltuu käytettäväksi sellaisilla julkisivuilla tai julkisivunosilla, joissa vaurioituminen on paikallisesti edennyt pitkälle. Tyypillisesti vaurioitumisen on aiheuttanut paikalliset kosteustekniset toimivuuspuutteet, kuten vuotavat räystäsrakenteet, pellitykset tai syöksytorvet. Erityisesti koristeellisilla vanhoilla julkisivuilla on perusteltua säilyttää vanhaa rappausta mahdollisimman paljon, sillä koristeellisten rappauspintojen uusiminen on huomattavan kallista.

Julkisivurappauksen säilytettävien ja purettavien osien rajakohdat tulee sijoittaa siten, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän ulkonäköhaittaa ja että korjaamatta jätettävät julkisivunosat voidaan uusia myöhemmin helposti.

Uusintarappaukset tehdään samantyyppisillä pakkasenkestävillä laasteilla kuin säilytettävien osien rappaukset ovat. Laastien koostumus riippuu mm. rappausalustasta, rappausstyypistä ja julkisivulle kohdistuvasta saderasituksesta. Paikattu vaurio kohta ei saa muodostua ympäristöään lujemmaksi, joten yleensä on syytä käyttää suhteellisen heikkoja laasteja. Laastianalyysiä ei yleensä ole tarpeen tehdä, koska korjauskäyttöön voidaan valita riittävän pakkasenkestävä heikko laasti. Lujia laasteja ei ole yleensä tarpeen käyttää ankarissakaan rasitusolosuhteissa, koska paikattu kohta on yleensä aina säilytettävää rappausta paljon kestävämpi. Paikkaus- ja pinnoituskorjauksen käyttöikä voidaan pitää noin 20 vuotta.

## Peittävät korjaukset

Mikäli rapatun julkisivun vaurioituminen on edennyt niin pitkälle, että säilyttävät korjaukset eivät ole enää taloudellisesti järkeviä, eikä niillä ole mahdollista saavuttaa korjaukselta tavoiteltavaa käyttöikää, on käytettävänä erilaisia peittäviä korjausvaihtoehtoja. Peittäviin korjauksiin kuuluu tyypillisesti julkisivujen kohdalla lisälämmöneristys, jonka tärkeimpänä tehtävänä on ollut vaurioitumisen pysäyttäminen rakenteita kuivattamalla tai ainakin merkittävä hidastaminen. Varsin todennäköisesti lisälämmönerityksellä haetaan tulevaisuudessa edellisen lisäksi myös rakennukselle parempaa energiatehokkuutta. Peittävän korjauksen tavoitteellisena käyttöikä on pidetty 30–50 vuotta.

## Rappauksen purkaminen ja uusiminen

Rappauksen uusiminen kauttaaltaan soveltuu käytettäväksi sellaisilla julkisivuilla, joissa rappauksen vaurioituminen on laajoilla alueilla edennyt niin pitkälle, että paikkaaminen ei enää ole mielekäästä. Yleensä kriteerinä rappauspinnan uusimiselle kauttaaltaan pidetään sitä, että rappauksesta on uusittava yli kolmannes. Tämä raja on kuitenkin asetettava tapauskohtaisesti, koska esimerkiksi koristeellisilla ja kalliisti uusittavilla rappauspinnoilla voi olla järkevää jättää myös suhteellisen pieniä rappausalueita.

Uusintarappaukset tehdään pakkasenkestävillä kalkki-, kalkkisementti- tai sementtilaasteilla. Laastien tulee olla lisähuokostettuja korjauksen pitkän käyttöiän varmistamiseksi kaikissa tapauksissa, myös ns. suojelukohteissa. Laastien tarkempi koostumus riippuu mm. rappausalustasta, rappausstyypistä ja julkisivulle kohdistuvasta saderasituksesta. Rakennuksen saaman saderasitustason mukaan rappauspin-



tojen pintakäsittelynä tulee harkita joko hyvin läpäiseviä tuotteita tai ankarimmin rasitetuilla avoimilla seuduilla kosteusrasitustasoa alentavia mutta hyvin vesihöyryä läpäiseviä suojaavia pinnoitteita. Uusitun rappauksen käyttöikätaavoitteen tulee olla luokkaa 50 vuotta.

# 7 Puujulkisivut ja muut pientalojen ulkoseinät

7.1

## Vaurioituminen

Puurunkoisten rakennusten rakenteissa on huomattavan paljon eroavaisuuksia verrattuna mihinkään muuhun rakentamiseen. Tämä johtuu suuresta pientalojen omavalmistuksesta, joka oli varsin korkea vielä 1990-luvulle tultaessa. Elementtirakenteisten pientalojen osuuden kasvaminen ja suomalaisten innostuksen vähentyminen omatoimiseen rakentamiseen ovat yhtenäistäneet puurakenteisten pientalojen rakenteita tehokkaimmin.

Puurakennukset ovat tyypillisesti matalia yksi- tai kaksikerroksisia rakennuksia, joten puujulkisivujen saama saderasitus on jo lähtökohdiltaan korkeita kerrostaloja alhaisempi. Puujulkisivujen kosteusteknisen toiminnan perusteella julkisivut voidaan jakaa tuulettumattomiin hirsiseiniin ja tuulettuviin verhousrakenteisiin.

### Tuulettumattomat puujulkisivut

Perinteisesti hirsiseinät ovat muodostaneet koko ulkoseinärakenteen ilman erillistä lämmöneristekerrosta tai ulkovuorausta, jolloin hirren ulkopinta on suoraan säälle alttiina. Ulkoseinien ilman- ja sadevedenpitävyys on riippunut mm. hirsien työstön tarkkuudesta ja seinän painumisesta. Tyypillisesti hirsirakennukset ovat matalia yksikerroksisia rakennuksia, joissa on seinien yläosia suojaavat pitkät räystäät. Yleisin vaurioituminen liittyy hirsiseinän alapään saamaan kosteusrasitukseen ja sitä kautta alimpien hirsien ensin homehtumiseen ja pidemmälle edetessään puun lahoamiseen. Vanhat hirsirunkoiset rakennukset on varsin usein perustettu huomattavan matalalle, jolloin roiskevedet kastelevat seinän alaosaa.

Hirsiseiniä on myös päällystetty tuulettumattomalla lautaverhouksella, kun vanhaan rakennukseen on haluttu ”modernimpi ulkonäkö”. Yleisesti nämä lautaverhoukset ovat vanhoja, 1900-luvun alkupuolella tehtyjä. Samassa yhteydessä hirsirakennusta on voitu myös jatkaa, jolloin laajennusosan runkojärjestelmä on usein ollut rankarunkorakenne. Tuulettumattoman lautaverhouksen vaurioituminen on samantyyppistä kuin tuulettuvissa puuverhouksissa mutta yleensä hieman nopeampaa.

Tyypillisesti kalvon muodostavilla maaleilla maalatuissa hirsiseinissä maalipinnassa esiintyy mustia homepilkkuja maalityypistä riippuen noin 5–15 vuoden kuluessa maalaamisesta. Haitta on lähinnä esteettinen.

## Tuulettuvat puuverhoukset

Tuulettuvia lauta- ja paneeliverhouksia on käytetty yleisesti ns. rankarunkoisissa puutaloissa sekä myös hirsiseiniä ulkoverhouksena. Ulkoverhouslautojen ja -paneelien paksuus on vaihdellut välillä 15–32 mm, ohuimmillaan paneelit olivat 1980-luvulla. Tuuletusraon leveys on ollut tyypillisesti ”laudan vahvuus” eli sekin on vaihdellut käytetyn sahatavaran mukaan. Tuuletusvälin tarpeellisuuteen ja yhtenäisyyteen, kuten muidenkin rakenteiden säilyvyysominaisuuksiin, on kiinnitetty enemmän huomiota vasta 1990-luvulla.

Ulkoverhouslaudat ja -paneelit on yleensä maalattu enintään kolmelta sivultaan. Seinärakenteen sisään jäänyt sivu on yleensä käsittelemätöntä puuta samoin kuin koolauspuutavara. Tyypillisesti kalvon muodostavilla maaleilla maalatuissa laudoissa maalipinnassa esiintyy mustia homepilkkuja maalityypistä riippuen noin 5–15 vuoden kuluessa maalaamisesta. Haitta on lähinnä esteettinen.

Tyypillisin ulkoverhouksen vaurioituminen liittyy korkeaan kosteusrasitukseen huonosti toimivista rakenneliitoksista tai detaljeista johtuen sekä rasitustasoon nähden puutteellisesta rakenteen kuivatuksesta. Tyypillisessä vauriotapauksessa ulkoverhouksen taakse on päässyt vuotamaan sadevettä melko pitkään ja hidas kuivuminen on mahdollistanut käsittelemättömien lautojen homehtumisen ja myöhemmin lahoamisen.

Tyypillisiä epätiiviykskohtia ovat ikkuna- ja oviliitokset, erkkerien liitokset sekä leveiden ulkoverhouslautojen kosteusliikkeiden aiheuttamat raot tai estetyistä liikkeistä aiheutuneet lautojen halkeamat.

Puuverhouksien ulkopintaa on usein koristeltu erilaisin verhouk-, kerros- ja pie-lilaudoin. Seinäpinnasta ulkonevia koristeosia ei kuitenkaan ole suojattu pellityksin tai liitoskohtia erikseen tiivistetty. Seinäpintaa pitkin valuva sadevesi pääseekin lähes poikkeuksetta valumaan esteettä tällaisten koristeosien taakse. Kosteuden poistuminen on kuitenkin hidasta. Lisäksi myös tuulettuvilla verhouksilla olevia puurakennuksia on perustettu huomattavan matalalle, jolloin roiskevedet kastelevat ja likaavat ulkoverhouksen alapäitä rankkasateella sekä edelleen lisäävät alaosien koristelistojen rasitustasoa. Näiden tiiviillä peittäväällä maalilla maalattujen koristeosien home- ja lahovaurioituminen on toinen tyypillinen vauriomekanismi.

## Maalipintojen vaurioituminen

Auringon UV-säteily vahingoittaa useiden maalityyppien rakennetta katkomalla molekyyliketjuja pienemmiksi. Maalipinnat halkeilevat ja päästävät sadevettä takana olevaan puuhun, jonka kosteusliikkeistä johtuen maalipinnan halkeamat kasvavat edelleen. Puun kostuessa ja vaurioituessa maalipinnan tartunta puuhun heikkenee ajan kuluessa.

## Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen

Sateisuuden kasvaessa ja rankkasateiden lisääntyessä sadevesi pääsee entistä helpommin seinärakenteen sisään erilaisista epäjatkuuskohdista ja halkeamista. Sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen kasvattaa koko seinärakenteen kastumisriskiä, eli saderasitus ei jää enää pelkästään puun pintaosiin kuten tähän saakka. Hirsirakennuksissa tämä voi kovilla rankkasateilla yhdistettynä kovaan tuuleen tarkoittaa jopa sateen tunkeutumista seinän kautta sisätilaan.

Puurakenteiset pientalot ovat kuitenkin yleisesti matalia, joten tuulen vaikutus on melko vähäinen kerrostaloihin verrattuna ja sitä kautta sateen tunkeutumisriski seinien raoista sisään on pieni.

Sateisuuden kasvaessa ja pilvisyyden lisääntyessä seinärakenteen kuivumisolosuhteet heikkenevät ja materiaalien homehtumisriski kasvaa. Puujulkisivujen tyyppisimmät vauriomekanismit ulkoverhouksen pintakäsittelyn turmeltuminen sekä puun homehtuminen ja lahoaminen tulevat näin lisääntymään ja nopeutumaan tulevaisuudessa.

Puuverhouksen tuuletusraon ilma seuraa keskimäärin hyvin ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Ulkoverhouksen taustapinta on usein käsittelemätön, joten tuuletusraossa homehtuvat olosuhteet lisäävät myös siellä homeenkasvunriskiä. Tästä voi olla seurauksena mm. sisäilmaongelmia ulkoseinän läpivientien, ikkunaliitosten ja muiden vastaavien epätiiviykskohtien ilmavuotojen seurauksena.

## Korjaus- ja suojausmahdollisuudet

Puujulkisivujen korjausvaihtoehtoja ovat:

- julkisivun maalipinnan uusiminen
- vaurioituneiden ulkoverhouksautojen uusiminen
- hirsirungon osittainen uusiminen
- lisälämmöneristys ja peittävä korjaus.

### Maalipinnan uusiminen

Maalipinnan tarkoituksena on rakennuksen halutun ulkoväriin lisäksi yleensä suojata puuta homehtumiselta ja lahoamiselta. Kalvon muodostavan maalipinnan suojausvaikutus perustuu maalikalvon eheyteen. Rikkoutuneen maalipinnan epäjatkuuskohdista kosteus pääsee maalipinnan taakse vaurioittamaan puuta.

Odotettavissa olevan sateisuuden kasvamisen kannalta on erittäin tärkeää, että maalipinnat ovat ehjiä ja alla oleva puu pysyy kuivana. Tämä on ainoa vaurioitumista ennalta ehkäisevä korjaus/huoltotoimi. Huoltomaalaus on suoritettava 5–15 vuoden välein julkisivun saamasta UV-säteilystä sekä maalityypistä riippuen.

## Ulkoverhouksen uusiminen

Vaurioituneiden puuosien osittaisella tai koko ulkoverhouksen uusimisella korjataan jo pitkälle edenneitä vaurioita. Uusimisen yhteydessä tulee vaurioitumisen syy pyrkiä poistamaan ja julkisivun yksityiskohtia sekä tuuletusta parantamaan. Usein tämä tarkoittaa ulkoverhousrakenteen jonkinasteista kasvua ulospäin käytettävien materiaalien paksuuntuessa.

## Hirsirungon osittainen uusiminen

Ns. hirsirungon kengitys on perinteinen, joskin varsin työläs tapa jatkaa vanhan hirsirungon käyttöikä. Samassa korjauksessa tulee koko rakennusta nostaa ylemmäs sekä parantaa alimman hirsikerroksen perustusliitosta, jotta uusitun hirsirungon käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä.

## Lisälämmöneristys ja peittävä korjaus

Puurakennuksen, sekä hirsi- että rankarunkoisen, ulkopintaan on mahdollista asentaa lisälämmöneristys sekä uusi tuulettuva verhous. Lisälämmöneristyksen tulee mahdollistaa rakenteen kuivuminen diffusiivisesti ulospäin.

Rakennuksen ulkonäköä muuttavan uuden rakenteen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon erilaisten liitosten, ulokkeiden, sisäänvetojen jne. vaikutukset uuden rakenteiden toimintaan.

## 8 Metalli- ja lasijulkisivut

### 8.1

#### Vaurioituminen

##### Yhtenäiset metallijulkisivut

Yhtenäisellä metallijulkisivulla tarkoitetaan tässä yhteydessä sellaista julkisivurakennetta, josta ei ole tarkoitus päästä sadevettä läpi. Metallijulkisivut voivat olla joko tuulettuvia, kuten erilaiset poimulevyjulkisivut tai ns. umpirakenteita, kuten pelti-lämmöneriste-pelti -sandwich-rakenteet.

Yleisesti metallijulkisivujen ulko-olosuhteista aiheutunut vaurioituminen on ollut pintakäsittelyjen turmeltumista auringon UV-säteilyn vaikutuksesta sekä metallin korroosiosuojan rikkoutumisen seurauksena materiaalin korroosio. Ensivaiheessa vaurioituminen on lähinnä esteettinen haitta, mutta pitkälle edetessään myös metallin korroosio käynnistyy.

Tyypillisesti metallilevyjen pinnassa on ohut sinkitys ja sen päällä erilaisia pinnoitteita, joten levyjen käyttöikä on yleisesti hyvin pitkä. Nopeaan ruostumisen käynnistymiseen on yleensä tarvittu pinnoitekerrosten mekaaninen rikkominen, joka on aiheutunut tyypillisimmin metallilevyjen työstön aikana tai levyjen kiinnityskohdista.

Tuulettuvien metallijulkisivujen kiinnitysalustana on yleensä käsittelemätöntä puuta, joka muodostaa seinärakenteessa tarvittavan tuuletusraon. Epätiivien tai huonosti toimivien detaljien johdosta metalliverhouksen taakse voi päästä vettä. Tyypillisiä epätiiviyiskohtia ovat ikkuna- ja oviliitokset, joiden kohdalla myös rakenteen tuuletus voi olla puutteellinen.

Tuulettumattomien pelti-lämmöneriste-pelti -sandwich-rakenteiden saumojen kautta voi rankkasateella päästä vettä rakenteen sisään. Tyypillisimmin rakentamiseen on päässyt vettä jo rakennusvaiheessa puutteellisen suojauksen seurauksena. Mineraalivillaeristeiseen metallisandwich-elementtiin mahtuu vettä useita litroja, ja veden poistuminen voi tapahtua ainoastaan elementin alareunasta valumalla. EPS-eristeiseen elementtiin ei vettä juurikaan mahdu.

##### Avosaumaiset julkisivut

Avosaumaisia julkisivuja on tehty erilaisista metallikaseteista, levyistä sekä keraamisista laatoista. Näissä järjestelmissä julkisivumateriaalit kiinnitetään mekaanisin kiinnikkein joko metalli- tai puurankaan.

Julkisivun avonaisten saumojen vuoksi sadevettä pääsee viistosateella tunkeutumaan syvemmälle seinärakenteeseen, mutta avoimen rakenteen ansiosta kosteus kuitenkin poistuu rakenteesta nopeasti. Nykyisin avosaumaisten julkisivujen taustalle on asennettu erillinen vedenpitävä julkisivulevy, esimerkiksi profiilipelti. Vielä 1990-luvulla avosaumaisten julkisivuverhousien taustalla oli pelkkä tuulensuojapinta, tyypillisesti joko tuulensuojakipsilevy tai -villa.

Metallilevyissä yleisimmät vauriomekanismit ovat pinnoitteiden vaurioituminen sekä korrosio, kuten edellä on kerrottu. Nykyiset klinkkeri- ja tiililaatat kestävät yleisesti hyvin säärasituksia. Estettyjen lämpöliikkeiden seurauksena voi tapahtua laattojen rikkoutumista, joka kuitenkin on hyvin harvinaista.

Erilaisten verhouksien tyypillisin vauriomekanismi on pintakäsittelyn vanheneminen. Myös levyjen pakkasrapautumista on esiintynyt, mutta ilmiö on ollut enemmänkin satunnainen poikkeus.

## Lasijulkisivut

Lasijulkisivuissa käytetyt rakenteet ovat usein varsin tapauskohtaisia. Yleisimmän lasin on kiinnitetty joko teräs- tai alumiiniprofiiliin erilaisilla mekaanisilla kiinnikkeillä sekä tiivisteillä. Kaikki lasijulkisivujen rakenteet ovat vettä imemättömiä, joten julkisivupintaa sateella pitkin kulkee tuulen ja gravitaation vaikutuksesta huomattavia vesimääriä, joka voi päästä epätiiviykskohdista tai huonosti toimivista detaljeista jopa sisätiloihin saakka.

Lasijulkisivujen materiaalit ovat sinänsä hyvin säänkestäviä. Niiden vaurioituminen liittyy lähinnä umpiolämpölasielementtien sisältämien kaasujen vuotamiseen sekä tiivistemateriaalien vanhenemiseen.

### 8.2

## Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaurioitumiseen

### Pelti-lämmöneriste-pelti -sandwich-rakenteet

Sään ääri-ilmiöiden lisääntymisen ja voimistumisen seurauksena metallisandwich-rakenteen lämpöliikkeistä aiheutuvat muodonmuutokset lisääntyvät. Tämän seurauksena elementtien välisiin liitoksiin voi syntyä rakoja, joista sitten sadevesi pääsee nykyistä helpommin rakenteen sisään.

Erittäin tummapintaisissa EPS-eristeisissä elementeissä ääri-ilmiöiden seurauksena julkisivun pintalämpötilat voivat nousta hetkellisesti noin +80° tuntumaan. Tästä voi periaatteessa olla seurauksena EPS-eristeen pintaosan kutistumista, mikä pyrkii käyristämään elementtejä tai estettynä muodonmuutoksena heikentää eristeen ja pellin välistä liimatartuntaa.

### Avosaumaiset julkisivut

Sateisuuden kasvaessa ja rankkasateiden lisääntyessä sadevesi pääsee entistä helpommin avonaisista saumoista seinärakenteen sisään. Sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen kasvattaa koko seinärakenteen kastumisriskiä, eli saderasitus ei jää enää pelkästään julkisivulevyjen ja rankarakenteen rasitukseksi kuten tähän saakka.

Sateisuuden kasvaessa ja pilvisyyden lisääntyessä seinärakenteen kuivumisolosuhteet heikkenevät ja seinärakenteessa olevien materiaalien homehtumisriski kasvaa. Julkisivun rankarakenteen sekä puisten ikkunarakenteiden homehtuminen ja lahoaminen tulevat näin lisääntymään ja nopeutumaan tulevaisuudessa.

### Lasijulkisivut

Erilaiset liitokset ja detaljit vaikuttavat eniten lasijulkisivujen toimivuuteen sekä nykyisessä että tulevassa ilmastossa. Sään ääri-ilmiöiden seurauksena lasien lämpöliikkeet tulevat kasvamaan nykyisestä. Mikäli rakenteissa ei ole riittäviä liikevaroja sekä lasin että metallien lämpöliikkeille, kuumien kesäpäivien seurauksena lämpölaseissa tulee ilmenemään rikkoutumista jonkin verran nykyistä enemmän.

8.3

### Korjaus- ja suojausmahdollisuudet

Metalli-, lasi- ja keraamisista laatoista tehdyillä julkisivuilla ei ole sellaisia korjausmenetelmiä, joilla voitaisiin ennakkoon vähentää ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Pintakäsittelyjen ja erilaisten liitosten kunnossapito kuuluu ennemmin normaaliin rakennusten ylläpidon piiriin.



## 9 Yhteenveto

### 9.1

#### Nykytilanne

Vaurioitumisen ja korjaustarpeiden suhteen eniten korjaustarvetta nyt ja tulevaisuudessa on betonielementtijulkisivuissa ja -parvekkeissa. Näitä on rakennettu paljon 1960-luvun puolivälistä alkaen, julkisivuja kaikkiaan noin 44 milj. m<sup>2</sup> ja parvekkeita yli 900 000 kpl (Vainio et al. 2005). Betonin pakkasenkestävyyden ja raudoitteiden korroosion kannalta eniten korjattavaa tulee olemaan 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa betonielementtirakennuksissa. Raudoitteiden korroosiosta sekä betonin pakkasrapautumisesta aiheutuvaa korjaustarvetta tulee olemaan runsaasti myös ennen 1990-lukua valmistuneissa rakenteissa, joskin betonin pakkasenkestävyys on niissä yleisesti aiempia vuosikymmeniä parempi. 1990-luvulla betonin lujuustasoa nostettiin yleisesti ja vuosikymmenen lopulla alkoi ruostumattomien terästen käyttö julkisivujen raudoitteina pikku hiljaa yleistyä. Näillä molemmilla seikoilla on ollut positiivisia vaikutuksia rakenteiden käyttöikään, vaurioituminen on selvästi hitaampaa kuin vanhemmassa betonielementtikannassa. Parvekkeissa ruostumattomat raudoitteet eivät ole yleistyneet, joten lähelle ulkopintoja jääneiden terästen korjaustarvetta tulee esiintymään jatkossakin.

Rapattuja julkisivuja on tehty ennen 1970-lukua ja vastaavasti jälleen 2000-luvulla, tosin silloin yleisimmin täysin erilaisella tekniikalla (eristerappaukset). Vanhoja julkisivurappauksia on usein korjattu jo aiemmin ja erityisesti 1960-luvulla ehjiäkin rappauksia maalattiin tiiviillä pinnoitteella, jonka seurauksena ne ovat tähän päivään mennessä usein pitkälle rapautuneita. Ne tiiviillä maalilla maalatut rappaukset, joita ei vielä ole uusittu, joudutaan uusimaan jo seuraavien 10–20 vuoden aikana.

Puhtaaksimuuratuiissa tiilijulkisivuissa on lukuisia vanhoja kirkkoja, teollisuuslaitoksia ja varastorakennuksia yms., joiden seinärakenteena on massiivinen tiilimuuri. Näiden julkisivujen saumat ovat usein huonosti pakkasta kestäviä ja lujuudeltaan heikkoja kalkkilaasteja.

1960-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa on usein päädyissä umpinainen kuorimuuri. Usein muurien yläosissa on havaittavissa sekä tiilien että erityisesti jälkisaumatun laastin rapautumista. Näiden kuorimuurien uusiminen on varsin usein suositeltavaa muun julkisivukorjauksen ja lisälämmöneristyksen yhteydessä. Huomattavan suuri osa 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennetuista tiilijulkisivuista on pientaloissa. Näiden sama saderasitus on kuitenkin usein jäänyt niin alhaiseksi, että laajempaa korjaustarvetta ei tällä hetkellä ole.

Puujulkisivuja on kaikkina vuosikymmeninä tehty määrällisesti eniten. Puujulkisivut ovat olleet yleensä vain matalien rakennusten, kuten pientalojen sekä rivitalojen julkisivumateriaaleja. Matalat räystäälliset rakennukset saavat selvästi vähemmän saderasitusta kuin korkeat räystäättömät kerrostalot, joten alhaisemmasta säärasituksesta sekä erilaisista vauriomekanismeista johtuen vaurioituminen on ollut hitaampaa ja korjaustarve jäänyt vähäisemmäksi.

## 9.2

### Säilyvyyden kannalta keskeistä

Kaikkien tässä esiselvityksessä käsiteltyjen julkisivutyypin säilyvyyden kannalta on keskeistä rakenteiden ennakoiva kunnossapito. Julkisivun kosteusrasitustason alhaisena pysymisen kannalta on tärkeää, että pellitykset ovat ehjiä ja suojaavat rakennetta suunnitellusti, rakenneosien väliset elastiset saumat sekä maalipinnat ovat ehjiä. Erityisen tärkeää on pitää huolta vedenpoistojärjestelmien kunnosta ja toimivuudesta niin parvekkeilta kuin katoiltakin.

Nykyisen rakennuskannan mahdollisimman pitkän käyttöiän kannalta keskeisiä suojaavia toimia ovat:

- 1960–1989 rakennetun parvekekannan kosteusrasitustason alentaminen suojaavalla pinnoitteella.
- Vastaava käsittely myös sellaisiin betonijulkisivuihin, joissa se on mahdollista, lähinnä maalatut ja sileät käsittelemättömät betonijulkisivut.
- Parvekelaattojen yläpinnan vedeneristyksellä sekä parvekelasituksella voidaan alentaa laatan betonin kosteusrasitustaso niin, että alapinnan raudoitteiden korrosio hidastuu merkityksettömäksi. Samalla laatan pakkasrapautumisen riski häviää.
- Voimakkaimman saderasituksen alueilla, erityisesti rannikkoalueilla rappauspintojen käsittely kastumista vähentävillä mutta hyvin vesihöyryä läpäisevillä pinnoitteilla vähentää pakkasrapautumisen riskiä. Soveltuvuus on selvitettävä tapauskohtaisesti rappauksen lujuuden mukaan.

Jo nykyisessä ilmastossa tavallista enemmän vetenä tai räntänä satavien talvien seurauksena voidaan havaita merkittävää vaurioitumisen lisääntymistä erityisesti vanhoissa heikoissa kalkki- ja kalkkipitoisissa rappauksissa. Vanhojen rakennusten rappaukset ovat siten erittäin herkkiä talvisten vesi- ja räntäsateiden sekä jäätymissulamissykkien lisääntymiselle.

## Tutkimus- ja kehitystarpeet

Tämän tutkimuksen perusteella seuraavat kehitys- ja tutkimustarpeet nousivat esiin:

- Kosteusteknisesti turvalliset ja energiatehokkaat korjausratkaisut.
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset huomioonottavat käyttöikämallit olemassa oleville betonielementtirakenteille.
- Suojaavan pinnoituskorjauksen kehittäminen pesubetonipintaisille julkisivuille.
- Ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkempi arvioiminen olemassa olevaan rakennuskantaan.

### Kosteusteknisesti turvalliset ja energiatehokkaat korjausratkaisut

Uudisrakentamisessa rakentamistapojen muutokset ovat menossa kohti energia- tehokkaampaa rakentamista. Tähän ovat ohjaamassa mm. kiristyneet lämmöneristysvaatimukset vuoden 2010 alusta sekä myös tulevat kiristykset ja suuntaus ns. passiivitalojen rakentamiseen. EU:n parlamentin hyväksymän rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaan energiatehokkuutta on edistettävä myös olemassa olevassa rakennuskannassa, sillä energiatehokkaalla uudisrakentamisella on hyvin hidaskäyttöinen vaikutus kokonaisuuteen.

Nykyisin julkisivun peittämissä korjauksissa lisälämmöneristystä on asennettu seinärakenteeseen siitä syystä, että vaurioituminen on saatu pysähtymään tai ainakin merkittävästi hidastumaan. Energiansäästö ei siis ole ollut merkittävin syy. Tyypillisesti lisälämmöneristystä on asennettu sen verran, että korjausajankohdan U-arvo vaatimus on täyttynyt. Käytännössä tämä on tarkoittanut noin 50–70 mm lisäeristystä.

Jotta rakennuskannan energiatehokkuutta voidaan merkittävästi parantaa, tulee peittävien korjausten yhteydessä asentaa lisälämmöneristystä seiniin 150–250 mm tavoitetasosta ja lähtötasosta riippuen. Näin suurella lämmöneristykseen lisäyksellä on suuri vaikutus vanhan vaurioituneen ja kastuneen seinärakenteen kosteustekniseen toimivuuteen sekä erilaisiin liitoksiin. Keskeisiä tutkittavia asioita ovat mm. rakenteen kuivumismahdollisuudet, ilmatiiviiden parantaminen, vaikutukset sisäilmaan, ikkunan sijainti, liitokset räystäisiin ja parvekkeisiin jne.

### Ilmastonmuutoksen vaikutukset huomioonottavat käyttöikämallit olemassa oleville betonielementtirakenteille

Nykyisin käytössä olevat rakenteiden elinkaarilaskentamallit pohjautuvat teoreettisiin vaurioitumismalleihin sekä joihinkin laboratoriokokeisiin ja niitä käytetään uusien rakenteiden tulevan käyttöiän arvioimiseen. Jo olemassa olevan rakennuskannan käyttöiän arvioimiseen nämä teoreettiset mallit eivät useinkaan sovi, sillä niissä tarvittavia lähtöarvoja ja -oletuksia ei ole luotettavasti saatavilla.

BeKo-tietokannasta saadaan runsaasti tietoa rakenteita vaurioittavista ilmiöistä todellisissa luonnonolosuhteissa pitkältä ajanjaksolta. Näiden tietojen sekä todellisten mitattujen säähavaintojen perusteella voidaan kehittää todellisiin mittauksiin perustuvia tarkempia käyttöikämallia olemassa oleville 1960–1980-lukujen betonielementtirakennuksille.

Ilmatieteen laitoksen keräämän säädäntä avulla voidaan selvittää rakenteiden todellinen rasitustaso ennen kuin on jouduttu korjauksiin. Tämän lisäksi erilaisten ilmastomallien avulla voidaan laatia ennusteita mm. tuulisuuden, sateisuuden ja jäätymissulamiskertojen muutoksista. Kuivumisolosuhteiden tarkastelussa ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat edellisten lisäksi merkittäviä muuttujia.

Näiden ilmastotietojen perusteella voidaan arvioida rakenteille tulevien sademäärien ja kuivumismahdollisuuksien muutoksia nykyiseen ilmastoon verrattuna. Huokoisten materiaalien kohdalla jäätymissulamissykliä määrä huokosverkosto täyttyneenä on rapautumisen kannalta kriittistä, ilman kosteuden ja rakenteen kosteus puolestaan lisäävät terästen korroosionopeutta ja mahdollistavat homeen kasvua.

## Suojaavan pinnoituskorjauksen kehittäminen pesubetonijulkisivuille

Sadevettä pidättäviä mutta vesihöyryä läpäiseviä ns. suojaavia pinnoitteita on käytetty betonirakenteiden laastipaikkausten yhteydessä Suomessa jo joitakin vuosia. Näiden pinnoitteiden rakenteita suojaava vaikutus perustuu betonirakenteen kosteuspitäisyyden merkittävään alenemiseen (Mattila & Pentti 2004). Suojaavia pinnoitteita on käytetty lähinnä maalaatuilla julkisivuilla sekä parvekkeilla, joissa pinnoite on helposti saatavissa yhtenäiseksi.

BeKo-tutkimuksen mukaan (Lahdensivu et al. 2010) yli 50 % vanhoista pesubetonijulkisivuista ei ole pakkasenkestäviä kosteusrasituksessa, sillä niiden suojahuokosuhte  $\mu$  on alle 0,10. Suojaavia pinnoitteita ei karkeilla pesubetonijulkisivuilla ole Suomessa käytetty, koska pinnoitekerros pitää saada yhtenäiseksi mutta kuitenkin riittävän ohueksi, jotta maalipinnan vesihöyrynläpäisevyys pysyy riittävän suurena.

Pesubetonijulkisivuille tulee kehittää niille soveltuvia vesihöyryä hyvin läpäiseviä mutta sadevettä pidättäviä maaleja, joilla saadaan luotettavasti yhtenäinen pinta karkeaan pesubetonijulkisivuun. Tuoteominaisuuksien lisäksi kehitystyötä on tehtävä soveltuvien työtekniikoiden sekä laadunvarmistustoimien löytämiseksi.

Esimerkiksi Saksassa pesubetonijulkisivujen ulkonäköä on uudistettu hyvinkin paljon vain maalaamalla. Tosin olosuhteet eivät pakkasrapautumisen suhteen ole yhtä ankarat kuin Suomessa.

## Ilmastonmuutoksen vaikutusten tarkempi arvioiminen olemassa olevaan rakennuskantaan

Tässä esiselvityksessä on arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutuksia olemassa olevaan rakennuskantaan BeKo-tutkimukseen sekä TTY:n tutkijoiden kokemukseen ja näkemys perustuen. Uudisrakentamisen kohdalla rakenteiden ja rakentamistapojen sopeutumisesta tulevaisuuden ilmastoon tutkitaan mm. Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen FRAME-tutkimuksessa.

Nykyisen jo olemassa olevan rakennuskannan sopeutuminen tulevaisuuden ilmastoon on asiana tärkeä ja sillä on suurta rakennushistoriallista sekä kansantaloudellista merkitystä. Ilmastotutkimuksen lisäksi tarvitaan jatkuvasti selvityksiä tulevaisuuden ilmaston vaikutuksista rakennettuun ympäristöön, johon olemassa oleva rakennuskanta keskeisenä osana kuuluu. Nykyisen rakennuskannan todellinen käyttöikä ei pääty laskennalliseen 50 tai 100 vuoteen, vaan rakennuskannan käyttöikää jatketaan korjaamalla.

Ilmastonmuutosten vaikutusten arviointia varten on olemassa BeKo-tutkimuksessa kerätty betonijulkisivujen ja -parvekkeiden materiaaliominaisuuksia sekä vaurioitumista kuvaava aineisto. Tämän aineiston tarkempi analyysi ilmastonmuutoksen näkökulmasta sekä vastaavan aineiston kerääminen muista julkisivutyypeistä ovat keskeinen perusta tarkemmalle arvioimiselle yhdessä Ilmatieteen laitoksen tulevaisuuden sääennusteiden kanssa.

## KIRJALLISUUSVIITTEET

- Asumisterveysopas 2003. STM:n oppaita 2003:1, 93 s.
- ETAG 004, Guideline for European technical approval of external thermal insulation composite systems with rendering. Edition March 2000. EOTA. 87 p.
- Haukijärvi M., Hekkanen M., Lahdensivu J., Mattila J. 2009. JUKO – Julkisivujen korjausopas 2009. Helsinki. Julkisivuyhdistys r.y. 101 s.
- Broomfield J. 1997: Corrosion of steel in concrete – understanding, investigation and repair. London. E & FN Spon. 240 p.
- BY 32 Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus. 1992. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 32. 66 s.
- BY 46 Rappauskirja 2005. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 46. 158 s.
- BY 57 Eriste- ja levyrappaus 2010. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 57. 135 s. (vielä julkaisematon)
- Fagerlund, G. 1977. The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete. Tentative RILEM recommendation. Prepared on behalf of RILEM Committee 4 CDC. *Materiaux et Constructions* 1977 no 58. pp. 217-229.
- Fagerlund, G. 1997. Internal frost attack – state of the art. In: RILEM Proceedings 34, Frost resistant of concrete. Setzer, M. J. & Auberg, R. (eds). pp. 321–338.
- Ilmastotiedot. Ilmatieteen laitos 2010, [www.fmi.fi](http://www.fmi.fi) sekä [www.fmi.fi/acclim](http://www.fmi.fi/acclim). 24.6.2010.
- Jerling A., Schechninger B. 1983. Fogars beständighet. Byggnadsrådet. Rapport R89:1083. Tukholma.
- Jokela A-M. 2008. Pesubetonijulkisivun vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. 76 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. (The changing climate in Finland: estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009.) Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4, 102 s. (In Finnish, abstract, extended abstract and captions for figures and tables also in English)
- Kuokkanen R., Leiponen K. 1981: Suomen tiiliteollisuuden historia. Helsinki, Suomen Tiiliteollisuusliitto r.y. ja Tiilikeskus Oy. 553 s.
- Kuosa H., Vesikari E. 2000: Betonin pakkasenkestävyyden varmistaminen, Osa 1. Perusteet ja käyttöikämitoitus. Espoo, VTT tiedotteita 2056. 141 s.
- Lahdensivu J. 2003. Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikka, tutkimusraportti 127. 159 s. + 9 liites.
- Lahdensivu J, Varjonen S, Köliö A. 2010. BeKo – Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, tutkimusraportti 148. 79 s.
- Lahti Matti J. 1960: Kuinka Helsinkiä on rakennettu. Helsinki, Rakentajain Kustannus Oy. 336 s.
- Mattila J., Pentti M. 2004. Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Tutkimusraportti 123. 69 s.
- Nikula R. 1993. Rakennettu maisema, Suomen arkkitehtuurin vuosisadat. Helsinki. Otava. 159 s.
- Penttala V. 1998. Freezing-induced strains and pressures in wet porous materials and especially in concrete mortars. *Advanced Cement Based Materials* 7/1998. pp. 8–19.
- Pigeon M. & Pleau R. 1995. Durability of concrete in cold climates. Suffolk. E & FN Spon. 244 p.
- Powers T. C. 1949. The air requirement of frost-resistant concrete. Chicago: Portland Cement Association, Research and Development laboratories, Development Department. Bulletin 33.
- Powers T. C. & Helmuth R. A. 1953. Theory of volume changes in hardened Portland cement pastes during freezing. In: Proceedings of the Highway Research Board 32. pp. 285–295.

- Salkinoja-Salonen M. 2002. Mikrobiologian perusteita. Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos.
- Sandin K. 1980. Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Delrapport I–VIII. Lund. Tekniska Högskolan i Lund.
- Suonketo J., Pessi A-M., Pentti M., Raunio-Lehtimäki A. 1999. Betonielementtjulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 101. 88 s. + 6 liites.
- Tuutti K. 1982: Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm. Swedish Cement and Concrete Research Institute. CBI Research 4:82. 304 p.
- Vainio T., Lehtinen E., Nuuttila H. 2005: Julkisivujen uudis- ja korjausrakentaminen. Tampere. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 26 s. + 13 liites.
- Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J., Pentti, M. 2006. Conservation and Maintenance of Concrete Facades – Technical Possibilities and Restrictions. TUT/Institute of Structural Engineering, Publications 136. Tampere. 27 p.
- Weijo, I., 2008. Betoniparvekkeiden pakkasenkestävyys olemassa olevissa rakenteissa. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. 172 s.

## KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto			<i>Julkaisu-aika</i> Marraskuu 2010
<i>Tekijä(t)</i>	Jukka Lahdensivu			
<i>Julkaisun nimi</i>	<b>Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa</b>			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Suomen ympäristö 17/2010			
<i>Julkaisun teema</i>	Rakennettu ympäristö			
<i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i>				
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Tämän esiselvityksen tavoitteena on arvioida nykytiedoin tällä hetkellä käytössä olevien julkisivurakenteiden sekä niiden korjausmenetelmien käyttökelpoisuutta tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa sekä saada käsitys, millaisia tutkimustarpeita nykyisen rakennuskannan sopeutumisessa ilmastomuutokseen on.</p> <p>Tässä esiselvityksessä keskitytään ensisijaisesti huokoisten kiviainespohjaisten julkisivu- ja parvekemateriaalien vauriomekanismeihin sekä niiden keskeisimpiin korjaustapoihin. Pääpaino on 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa rakennuksissa, jolloin selvitys kattaa yli 80 % rakennuskannasta.</p> <p>Lähtöolettamuksina ilmastomuutoksen vaikutusten arvioinnissa pidetään Ilmatieteen laitoksen ACCLIM-tutkimuksen päätelmiä ilmaston muuttumisesta seuraavan sadan vuoden aikana.</p>			
<i>Asiasanat</i>	ilmastonmuutos, julkisivu, raudotteiden korrosio, pakkasrapautuminen, korjaustarve			
<i>Rahoittaja/ toimeksiantaja</i>	Ympäristöministeriö			
	ISBN 978-952-11-3777-8 (nid.)	ISBN 978-952-11-3778-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkköj.)
	<i>Sivuja</i> 64	<i>Kieli</i> suomi	Luottamuksellisuus julkinen	<i>Hinta (sis. alv 8 %)</i>
<i>Julkaisun myynti/ jakaja</i>	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Ympäristöministeriö			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			



## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	Datum November 2010		
Författare:	Jukka Lahdensivu			
Publikationens titel	<b>Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa</b> (Hållbarhet av fasader och balkonger under förändrande klimatförhållanden)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 17/2010			
Publikationens tema	Byggd miljö			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt				
Sammandrag	<p>Syftet med denna förundersökning är att med dagens information bedöma användbarheten av befintliga fasadstrukturer och reparationsmetoder i framtida klimatförhållanden samt bilda en uppfattning om olika slags behov av forskning kring det befintliga byggnadsbeståndets anpassning till klimatförändringen.</p> <p>Denna förundersökning fokuserar i första hand på mekanismer för skador i fasad- och balkongmaterial som baseras på poröst stenmaterial samt på de viktigaste metoderna för reparation av sådana fasader och balkonger. Huvudvikten ligger på byggnader som byggts på 1960-talet eller senare, vilket innebär att utredningen täcker mer än 80 % av byggnadsbeståndet.</p> <p>Som utgångsantaganden för bedömning av klimatförändringens konsekvenser användes Meteorologiska institutets slutsatser om klimatförändringen under de följande 100 åren enligt resultat från forskningsprojektet ACCLIM.</p>			
Nyckelord	klimatförändring, fasad, korrosion av järnbeslag, frostvittring, reparationsbehov			
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet			
	ISBN 978-952-11-3777-8 (hft.)	ISBN 978-952-11-3778-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 64	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Förläggare	Miljöministeriet			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2010			

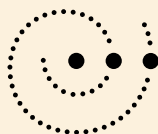
## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment			<i>Date</i> November 2010
<i>Author(s)</i>	Jukka Lahdensivu			
<i>Title of publication</i>	<b>Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa</b> (The durability of facades and balconies in a changing climate)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 17/2010			
<i>Theme of publication</i>	Built Environment			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>The aim of this pre-study is to assess, based on current information, the applicability of today's facade structures and renovation methods in the climate conditions of the future, and to get an idea of what research is needed for adapting the current building stock to climate change.</p> <p>The pre-study focuses, first and foremost, on the deterioration processes of porous stone-based facade and balcony materials and key repair methods. Emphasis is on buildings constructed in the 1960s and later, which means that the study covers over 80% of the existing building stock.</p> <p>In the assessment of the impact of climate change, the starting hypotheses are the conclusions of the Finnish Meteorological Institute's ACCLIM research on climate change during the next 100 years.</p>			
<i>Keywords</i>	climate change, facade, reinforcement corrosion, frost weathering, repair need			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment			
	ISBN 978-952-11-3777-8 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3778-5 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 64	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O. Box 780, FI-00043 EDITA Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd. Helsinki 2010			



Ilmastonmuutoksen torjumista on eri medioissa tuotu esiin sekä poliitikkojen että ilmastotutkijoiden toimesta jo pitkään. Ilmastonmuutoksen torjumiseksi valtiot ovat sopineet varsin haasteellisia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteita. Eri ilmastoennusteiden mukaan Suomen ilmasto tulee joka tapauksessa muuttumaan lämpimämpään ja sateisempaan suuntaan seuraavien vuosikymmenten aikana riippumatta uudisrakentamisen energianvähennystoimista. Nykyisen useiden vuosikymmenten aikana rakennetun rakennuskannan julkisivuissa on käytetty monia erilaisia materiaaleja, joiden kestävyyttä muuttuvassa ilmastossa ei tarkkaan tunneta. Tämän lisäksi monien käytössä olevien rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta on jo nykyisessä ilmastossa varsin vaurioherkkää.

Tässä julkaisussa arvioidaan nykyisten julkisivutyyppeiden kestävyyttä, vaurioitumismekanismien ja vaurioitumisnopeuden muutoksia sekä korjaus- ja suojausmahdollisuuksia muuttuvassa ilmastossa. Tässä esiselvityksessä keskitytään ensisijaisesti huokoisten kiviainespohjaisten julkisivu- ja parvekemateriaalien vauriomekanismeihin sekä niiden keskeisimpiin korjaustapoihin. Pääpaino on 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa rakennuksissa, jolloin selvitys kattaa yli 80 % rakennuskannasta. Esiselvitys perustuu tutkijoiden kokemuksiin julkisivujen vaurioitumisesta ja korjaamisesta sekä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitoksella aiemmin tehtyihin julkisivujen vaurioitumiseen ja korjausmahdollisuuksiin liittyviin tutkimuksiin.



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Myynti: Edita Publishing Oy  
PL 780, 00043 EDITA  
Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380  
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi  
www.edita.fi/netmarket

**ISBN 978-952-11-3778-8 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-3778-5 (PDF)**

**ISSN 1238-7312 (pain.)**

**ISSN 1796-1637 (verkkoj.)**