

Suomen olemassa oleva rakennuskanta joutuu koville ilmastonmuutoksen vaikutuksesta



Toni Pakkala, tekniikan tohtori
tutkijatohtori, Tampereen yliopisto
projektipäällikkö, osakas, Renovatek Oy
hallituksen puheenjohtaja, Julkisivuyhdistys ry
toni.pakkala@tuni.fi

Ilmaston lämpeneminen ja talvien muuttuminen Suomessakin sateisemmiksi vaikuttaa suuresti siihen, miten rakennukset pysyvät kunnossa. Julkisivujen ja parvekkeiden pinnoille tulee tulevaisuudessa selvästi enemmän viistosadetta kuin nykyisin. Toni Pakkala selvitti väitöstutkimuksessaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia olemassa olevaan betonirakennuskantaan, vaurio-mekanismeihin ja vaurioitumisen nopeuteen. Tulevaisuudessa on tärkeää pitää nykyisistä rakennuksista huolta järkevästi ajoi-tetuilla kunnossapitotoimenpiteillä.

Nykyisen rakennuskannan, varsinkin säälle alttiiden betonirakenteiden vaurioitumisesta nykyilmastossa on tutkittu jo pitkään Tam-pereen yliopiston Rakenteiden korjaamisen ja elinkaaritekniikan tutkimusryhmässä ja tuloksia on julkaistu mm. *Jukka Lahdensivun* ja *Arto Köliön* väitöskirjoissa. Ensin mainitussa selvitettiin betonijulkisivujen ja parvekkeiden vaurioitumista nykyilmastossa kattavan, 947 betonirakennuksen kuntotutkimustiedot sisältävän tietokannan ja Ilmatieteen laitoksen toimittamien säätietojen avulla. Jälkimmäisessä selvitettiin betoniterästen korroosiovaurioiden etenemistä ja mallintamista.

Tässä artikkelissa esitellyssä väitöstutki-muksessa suunnattiin katse tulevaisuuteen ja edellä mainittujen tutkimusten ja Ilmatieteen laitoksen toimittamien ilmastonmuutosten-nusteiden pohjalta selvitettiin, miten ilmas-tonmuutoksen myötä mahdollisesti muuttu-vat ilmasto-olosuhteet vaikuttavat olemassa olevan betonisen rakennuskantamme vauri-omekanismeihin ja vaurioitumisen nopeuteen.

Rakennetun omaisuuden tila 2019 -raportin arvioiden mukaan 45 % Suomen kansallisva-rallisuudesta on kiinni rakennuksissa ja kaik-kien rakennuksien arvosta asuinrakennukset muodostavat arviolta lähes kaksi kolmasosaa. Noin kolmannes suomalaisista asuu kerrosta-loissa, joiden suurin rakennusbuumi kohdistui

sodanjälkeiseen jälleenrakentamiskauden kau-pungistumiseen. Koska asuntotarve oli valtava, nopea elementtitekniikka otti pian paikkansa valtamenetelmänä. Suomen olemassa olevasta kerrostalokannasta yli puolet rakennettiin välillä 1960–89 ja parvekekannasta 95 % on rakennettu vuoden 1960 jälkeen. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että kyseisten rakennusten säilyvyysominaisuudet ovat heikot, pääasiassa puutteellisen tiedon ja siten vaatimusten vuoksi.

Päävauriomekanismeina betonisissa julkisivu- ja parvekerakenteissa ovat olleet pakkasrapautuminen ja karbonatisoitumisläh-töinen raudotteiden korroosio. Kyseisten vau-riomekanismien osalta suunnilleen nykyvaa-timustasoa alettiin vaatia vasta vuonna 1989. Myös sen jälkeen laadussa on ollut puutteita, mutta siitä huolimatta, rakenteet ovat kestä-neet nykyilmastoa osin riittävästi.

Vesi on mukana lähes kaikissa huokois-ten materiaalien vauriomekanismeissa. Esi-merkiksi pakkasrapautumista tapahtuu vain, jos betonin huokosverkostossa on niin paljon vettä, että sen jäätyminen aiheuttama paine ei pääse purkautumaan muuhun huokosver-kostoon ja aiheuttaen näin lopulta sisästä halkeilua. Raudotteiden korroosio puolestaan vaatii vettä toimimaan elektrolyyttiliuoksena reaktion tapahtumiseksi. Sen sijaan karbonati-

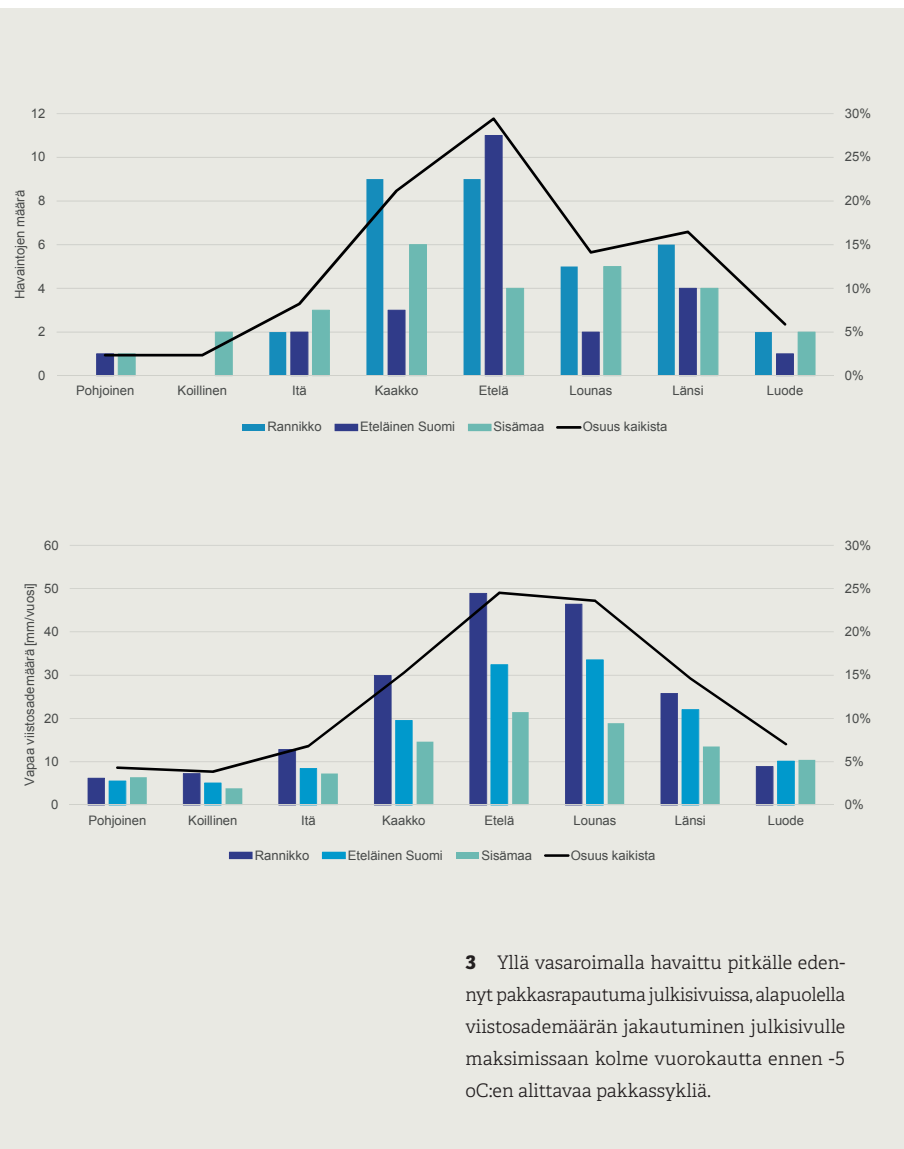
1 Asunto Oy Puistonportti Helsingin Lauttasaaressa julkisivukorjauksen jälkeen. Kohde voitti Julkisivu-yhdistyksen ja AKHAN järjestämän Julkisivuremont-ti-kilpailun vuonna 2019. Remontissa vanhat ja ahtaat betonikaiteiset parvekkeet purettiin. Niiden perustuk-sia pystytettiin hyödyntämään uusien parvekepielien alla. Julkisivulasitus suojaa myös parvekkeita ja jul-kisivuja. Suojaamalla vedeltä ja viistosateelta voidaan julkisivujen vaurioitumisnopeutta hidastaa merkittävästi.

2 Asunto Oy Helsingin Arabianviljojen betonira-kenteisissa julkisivuissa on käytetty uutta sisäkuo-ritekniikkaa. Betoniseen sisäkuoreen on yhdistetty julkisivun ulkokuoreessa betonin lisäksi eri materi-aaleja, kuten tiiltä, luonnonkiveä, lasia ja metallia. Nykyvaatimusten mukainen betoni kestää ilmas-tonmuutoksen rasitukset.



1





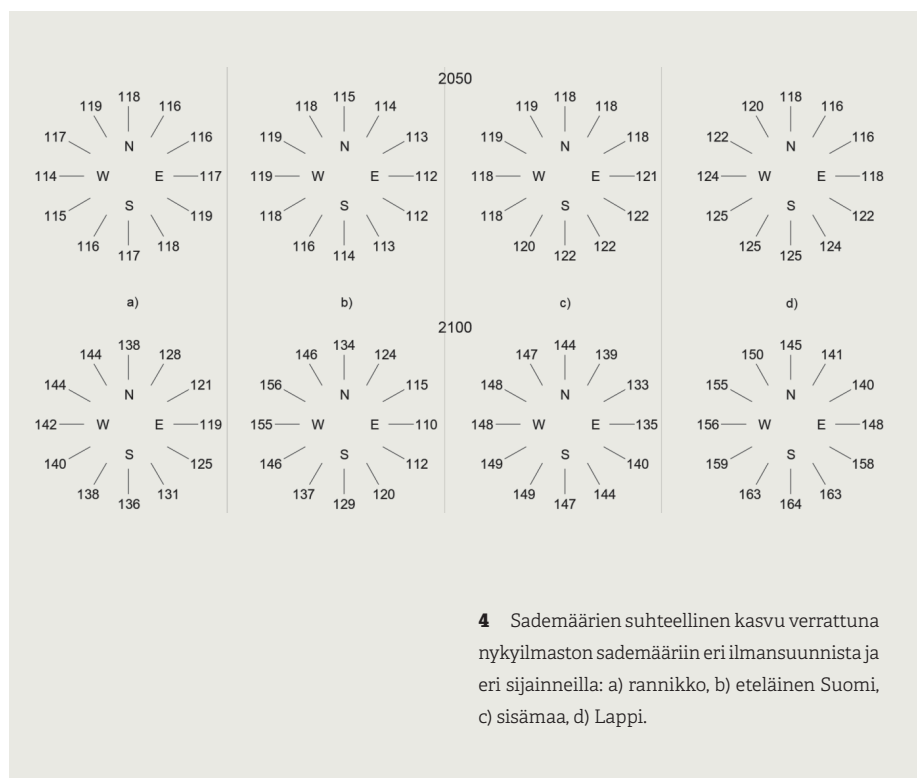
soitumista betoni- ja huokosissa oleva vesi hidastaa, sillä hiilidioksidi ei pääse imeytymään huokosverkkoon, jos se on vesitäyteinen. Siten mitä paremmin rakenne on suojassa vedeltä sitä paremmin se on myös suojassa niin pakkasrapautumiselta kuin varsinaiselta korroosiolta, vaikka karbonatisoituminen etenisi nopeasti ja mahdollistaisi korroosion tapahtumisen.

Nykyvaatimusten mukaisessa rakentamisessa betoni on suojattu pakkasrapautumiselta suojahuokostuksella ja raudotteiden korroosiolta riittävällä peitepaksuudella, mutta kuten todettua, hyvin suuri osa olemassa olevasta rakennuskannastamme on rakennettu sitä ennen ja sen säänkesto onkin hyvin voimakkaasti kytköksissä saderasitukselta suojautumiseen.

Viistosateen vaikutus vaurioitumiseen

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että rannikolla vaurioituminen on ollut nopeampaa. Esimerkiksi havaitut pakkasrapautumiset ovat ilmenneet rannikolla keskimäärin 11 vuotta nopeammin kuin sisämaassa, vaikka tuona aikana sateen jälkeisiä jäätymissulamissyklejä on ollut keskimäärin noin 80 rannikkoa vähemmän. Tulokset ovat siten viitanneet siihen, että rannikon suuremmalla viistosademäärällä eli sekä suuremmalla sademäärällä että kovemilla tuulilla sadehetkillä on ollut merkittävä vaikutus vaurioitumiseen. Nykyilmastossa rannikolla vapaata viistosadetta tulee 24 % eteläistä Suomea, 64 % sisämaata ja 135 % Lappia enemmän. Samoin etelänsuuntaisilla julkisivuilla on tiedetty vaurioitumisen olevan nopeampaa, minkä on tulkittu johtuvan siitä, että Suomessa sateella tuulee usein eteläisistä ilmansuunnista.

Tutkittaessa tarkemmin olemassa olevien rakennusten kuntotutkimuksissa havaittua pakkasrapautumista eri alueilla ja sen ilmentymistä eri ilmansuunnan julkisivuilla havaittiin, että 81 % kaikista pakkasrapautumishavainnoista on länsi-kaakkoisjulkisivuilla.



5 Ylemmässä kuvassa on esitetty -5°C alittavien jäätymissulamissyklijen määrä eri sijainneilla maksimissaan kolme vuorokautta sateen jälkeen ja alemmassa kuvassa keskimääräinen sademäärä samassa ajassa ennen yksittäistä sykliä.



Samojen julkisivujen osuus kaikesta viistosademäärästä ennen jäätymissulamissyklejä on 79 %. Molemmat osuudet ovat rannikolla ja eteläisessä Suomessa vielä suurempia, sisämaassa ja Lapissa hieman alhaisempia.

Tutkimuksessa käytössä ollut säädata perustuu Ilmatieteen laitoksen Suomessa neljällä mittauspisteellä (rannikko: Helsinki-Vantaa, eteläinen sisämaa: Jokioinen, sisämaa: Jyväskylä, Lappi: Sodankylä) nykyilmastossa (1980–2009) tekemiin mittauksiin sekä ilmastomuutoskenaarioon A2 perustuviin projektioihin tulevaisuuden ilmastosta (2030, 2050, 2100). Kyseinen skenaario A2 on vuonna 2007 hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) julkaistuista skenaarioista pahin olettamuksella, että hiilidioksidipäästöjä ei saada kuriin vaan ne nousevat aina vuoteen 2100 asti. Kyseisten ilmastomuutosennusteiden perusteella kosteusrasitustaso tulee nousemaan merkittävästi joka puolella maata. Koska rannikolla vaurioituminen on ollut sisämaata nopeampaa, lähinnä juuri kyseisen kosteusrasituksen vuoksi, nykyäänkin ankarimmin rasitetut rakennukset rannikolla joutuvat tulevaisuudessa entistä suuremman viistosaderasi-

tuksen piiskaamaksi ja sisämaassa puolestaan lähestytään rannikon nykyisiä olosuhteita.

Sademäärät kasvavat ympäri vuoden, mutta merkittävin kasvu tapahtuu talvikausina, jolloin lämpenemisen vuoksi sade tulee yhä useammin vetenä tai räntänä lumen sijaan. Loppusyksystä ja talvella myös kuivumisolosuhteet ovat heikot ulkoilman suhteellisen kosteuden pysyessä korkeana ja pilvisyyden lisääntyessä, kun auringonvalo ja sen lämmitävä vaikutus on muutenkin vähäisimmillään Suomen leveyspiirillä.

Ilmastomuutoksen vaikutus pakkasrasitukseen sekä raudoitteiden korroosioon

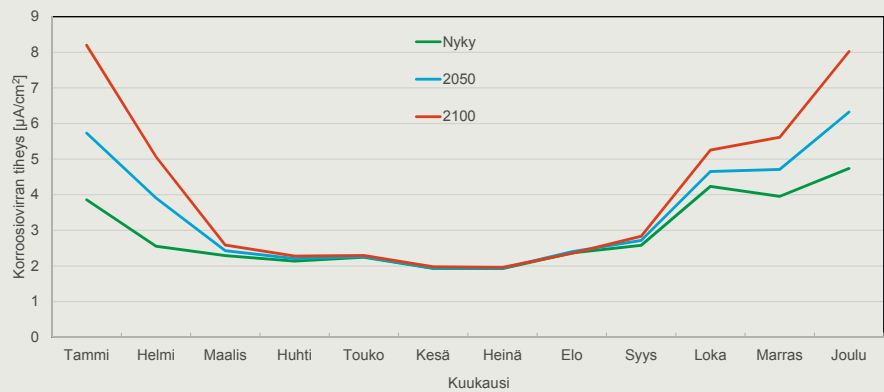
Huolimatta viistosateen määrän kasvusta, betonirakenteiden tyypilliset vauriomekanismit Suomessa, pakkasrapautuminen ja raudoitteiden korroosio, eivät kuitenkaan välttämättä kiihdy merkittävästi. Pakkasrapautuminen vaatii veden lisäksi myös jäätymis-sulamissyklejä ja tutkimusten mukaan kapillaarihuokosissa veden jäätyminen vaatii vähintään -5°C :een alituksen, minkä mukaan tutkimuksen laskelmat on toteutettu. Ranni-

kolla kyseisten syklien määrät lämpötilojen noustessa vähenevät, mutta sisämaassa pysyvät edelleen nykyisellä tasollaan. Siinä missä alkavan pakkasrapautumisen esiintyminen on nykyisin vienyt rannikolla keskimäärin 26 vuotta ja sisämaassa 37 vuotta, ennusteiden mukaisesti vuonna 2100 vastaavaan määrään sateen jälkeisiä jäätymis-sulamissyklejä menisi rannikolla 79 vuotta ja sisämaassa 53 vuotta.

Koska saderasituksen tasolla on kuitenkin havaittu olevan merkittävä vaikutus pakkasrapautumisen määrään, on kuitenkin syytä tarkastella myös viistosateen määrää ennen jäätymis-sulamissyklejä. Ennen yksittäistä sykliä keskimääräinen sademäärä tulee rannikolla pysymään nykyisen kaltaisissa lukeissa ollen kovempi kuin muissa tutkimuksissa sijainneissa, joissa kyseinen sademäärä tulee kasvamaan. Toisin sanoen yksittäisten syklien intensiteetti pakkasrapautumisen kannalta voi kasvaa, vaikka määrä vähenisikin.

Lisääntyvä kosteus saattaa hidastaa myös karbonatisoitumista, mutta toisaalta ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvu nopeuttaa sitä ja samalla kosteuden ja lämpötilan kasvu nopeuttavat merkittävästi terästen ruostumista, kun

6 Kuukausittainen keskimääräinen korroosiovirrantiheys karbonatisoituneessa betonissa rannikolla sijaitsevan rakennuksen eteläisellä julkisivulla nyky- ja tulevaisuuden ilmastossa.



se lopulta pääsee alkamaan. Todellisten kohteiden julkisivu- ja parvekerakenteisiin tehtyjen korroosiomittausten ja saman ajan säädatan perusteella rakennetun aktiivisen korroosion mallinnuksen perusteella varsinkin syysolosuhteissa, rannikolla myös talviolosuhteissa, korroosionopeus on suurimman viistosaderasituksen suunnissa huomattavasti suurempaa kuin kesäisin ja keväisin tai suojaisan ilman suunnan rakenteilla. Syynä on viistosademäärien lisäksi heikkomat kuivumisolosuhteet, sillä ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on korkealla, lämpötila matala ja auringon säteily heikkoa.

Tulevaisuudessa räsitus tulee kasvamaan huomattavasti varsinkin juuri syys- ja talviaikaan, sillä lämpötilat nousevat ja talven sademäärät vetenä kasvavat entisestään. Samojen mallinnusten perusteella pohjoisjulkisivujen rakenteissa sekä parvekelaattojen alapinnoissa, jotka ovat hyvin suojassa viistosateelta, korroosionopeus on tulevaisuudessaakin huomattavasti eteläisiä suuntia alhaisempi.

Yhteenveto

Tutkimuksen perusteella ilmastomuutos vaikuttaa betonin vauriomekanismien kannalta oleellisiin sääolosuhteisiin, varsinkin viistosademäärään räsitusastoa merkittävästi nostaen. Lämpötilan nousun myös jäätymissulamissykliä määrää sen sijaan laskee vuosisadan loppuun mennessä merkittävästi rannikolla ja eteläisessä Suomessa, mutta pysyy melko nykyisellään sisämaassa. Kuiten-

kin myös silloin räsituksen taso yksittäisen jäätymissulamissykliä kohdalla voi kasvaa, sillä sademäärät ennen yksittäisiä syklejä pysyvät ennallaan tai kasvavat. Räsitusastot vaihtelevat Suomessa merkittävästi niin sateen suuntautuneisuuden kuin maantieteellisen sijainninkin mukaan. Pohjoisjulkisivujen rakenteet ovat kaikkialla Suomessa paremmin suojassa viistosaderasitukselta ja siten vaurioitumiselta kuin eteläiset julkisivut. Samoin mitä pohjoisempaan mennään sitä alhaisempi on räsitus.

Tutkimuksen perusteella tulevaisuudessa muiden ilmansuuntien rakenteet joutuvat kuitenkin vähitellen vastaaviin olosuhteisiin kuin etelänsuuntaiset nykyilmastossa ja toisaalta sisämaa lähestyy rannikon nykyolosuhteita. Rannikolla olosuhteet heikkenevät entisestään. Viistosateelta suojaisilla rakenteilla vaurioituminen on huomattavan hidasta niin nyky- kuin tulevaisuudenkin ilmastossa. Uusia vauriomekanismeja ilmastomuutos kuitenkin tuskin mukanaan tuo, joskin nykyisin melko vähän huoltotoimenpiteitä aiheuttavat, lähinnä esteettisenä hähtana näkyvät leväkasvustot tulevat todennäköisesti lisääntymään.

Koska tutkimuksessa on käytetty vain hyvin voimakkaan ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvun ilmastomuutoskennariota, tuloksia tulee tarkastella myös kriittisesti, pitäen rankkuutta eräänlaisena varmistuskertoimena. Samalla tulee kuitenkin ottaa huomioon, että jos esimerkiksi lämpötila ei nouse skenaarion mukaisesti, sen vaikutus esimerkiksi jäätymissulamissykliä määrään on vähäisempi

eli tilanne ei juuri nykyisestä helpotu. Tällä hetkellä ilman hiilidioksidipitoisuuden nousu skenaarion esittelyn ajoilta on noudattanut sen mukaisia arvioita ja erot eri skenaarioissa alkavat näkyä 2030 luvulla.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että nyky-määräysten mukainen betonirakentaminen kestää muuttuvan ilmaston räsitukset. Olemassa olevasta rakennuskannasta, jolla ei vastaavia ominaisuuksia ole, huolehtiminen nousee kuitenkin merkittävään rooliin, sillä sen osuus Suomen rakennuskannasta on valtava ja asuinrakennuskanta uusiutuu hitaasti.

Ilmastomuutoksen myötä rakennusten kunnossapitosyikliä tulee lyhentyä ja niiden vaurioitilannetta tulee yhä tiheämmin seurata kuntotutkimuksilla, jotta mahdollisesti nopeutuviin vauriomekanismeihin voidaan reagoida ajoissa ja estää tai hidastaa niiden etenemistä.

Korjaustoimenvaihtoehtoja valittaessa tulee ottaa huomioon paikallinen räsitusasto ja varsinkin peittämissä tai purkavissa korjauksissa hyödyntää laadukkaiksi, kestäviksi ja vikasietoisiksi todettuja ratkaisuja.

Kasvavan viistosaderasituksen hillitsemiseen on myös paljon perinteisiä, hyvin tunnettuja menetelmiä, kuten räystäät, joiden merkitys kasvaa entisestään, sillä niillä pystytään alentamaan rakennusten kovimmalla räsituksella olevien yläosin räsitusta merkittävästi. Samoin pystytään suojaamaan myös esimerkiksi puustolla ja järkevällä aluesuunnittelulla.

Kuvat: Toni Pakkala



7



8



9



10

7 Karbonatisoitunut betoninäyte, jossa korroosiota teräksen pinnalla. Betoninäytteen karbonatisoitumrintama (korostettu tussilla) halkeaman kohdalla

8 Pitkälle edennyt pakkasrapautumaa betoninäytteessä.

9 Pakkasrapautumista ja korroosiota parvekepielessä.

10 Karbonatisoituneessa betonissa olevan teräksen korroosionopeus riippuu betonin kosteuspitoisuudesta.

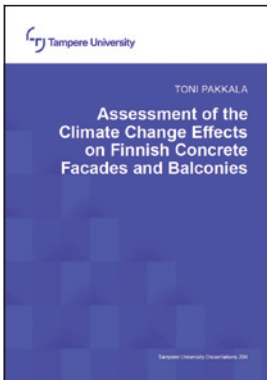
11 Raudotteiden korrosio on merkittävä ongelma 1960–1980-luvuilla rakennetuissa betonijulkisivuissa, koska teräkset ovat usein liian lähellä ulkopintaa.



11



12



12 Klinkkerilaattapintainen betonijulkisivu, jossa karbonatisoitumisen seurauksena syntynyttä terästen korroosiota ja pakkausrapautumista.

13 Ilmastomuutosennusteiden mukaan sateisuus ja tuulisuus kasvavat, jolloin betonijulkisivuille sekä parvekepinnoille sataa entistä enemmän vettä.

Lisätietoja:

Toni Pakkalan väitöskirja *Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies* tarkastettiin julkisesti Tampereen yliopiston Rakennetun ympäristön tiedekunnassa 14.2.2020. Vastaväittäjänä toimi professori *Tore Kvande* NTNU Trondheimista ja kustoksena dosentti *Jukka Lahdensivu* Rakennetun ympäristön tiedekunnasta.

Väitöskirjaan voi tutustua osoitteessa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1>.

Lisätiedot: Toni Pakkala, puh. 0401981962, toni.pakkala@tuni.fi

Saarijärveläissyntyinen *Toni Pakkala* työskentelee tällä hetkellä projektipäällikkönä Tampereen yliopiston Rakenteiden korjauksen ja elinkaari tekniikan tutkimusryhmässä ja korjausrakentamisen erikoisasiantuntijana Renovatek Oy:ssä sekä toimii Julkisivuyhdistys ry:n hallituksen puheenjohtajana.



13

Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies

Although Finnish building stock is young, a significant share of Finland's national property consists of buildings. A major part of that stock is now aged between 30 and 60 years and their outdoor facing structures are reaching or have already reached their renovation date. The value of renovation has increased steadily since the 1990s and is now surpassing the value of new construction. Thus, maintenance and safeguarding the service life of the existing building stock is recognised as having a major effect on the national wealth. At the same time, the quality of, for example, the concrete facades and balconies built that time has found to be poor, mainly because majority of them were built during the time when quality requirements were not even at the level of need of the current climate.

The goal of this research is to determine what needs to be done in the building stock to adapt to climate change. The research is limited to outdoor exposed concrete facades and balconies because of their significant role in the Finnish building stock, and because the current condition and deterioration mechanisms and their rates have been extensively studied before. However, the aim is that most of the findings can be utilised also in new construction, regardless of the construction material.

This thesis discusses the effect of climate change by two ways: its effect on the intensity of selected climatic factors and their effect on the deterioration rate of the best-known deterioration mechanisms of concrete, i.e. corrosion of reinforcement and freeze-thaw damage. The results show that climate change is going to intensify especially wind-driven rain (WDR) load, which is a significant part of almost all of the most critical deterioration mechanisms. However, the effect is highly dependent on the location and the direction of orientation of the structure. The highest deterioration rates have been shown to be in coastal areas and southern areas and in structures facing southern directions. The geographical dependence is significant because a considerable share of Finnish existing building stock is located in the coastal area or southern Finland where the climatic load is and will be the most severe. On the other hand, the deterioration rate is and will be low in Lapland and so is the share of buildings. However, results imply that even with insufficient quality, the concrete structures can have a decent service life and the structures can be effectively protected against climatic factors, for example, by sheltering. The results of this study can be used to target both the actual methods used in renovation and preventative maintenance methods.