

# BETONIJULKISIVUJEN JA -PARVEKKEIDEN KUNTOTUTKIMUS SEKÄ MUUTTUVAN ILMASTON VAIKUTUS RAKENTEISIIN

Timo Vesterinen

Opinnäytetyö  
Helmikuu 2012

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) VESTERINEN, Timo	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.2.2012
	Sivumäärä 75	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi BETONIJULKISIVUJEN JA -PARVEKKEIDEN KUNTOTUTKIMUS SEKÄ MUUTTUVAN ILMASTON VAIKUTUS RAKENTEISIIN		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) PITKÄNEN, Reijo		
Toimeksiantaja(t) Raksystems Anticimex Insinööritoimisto Oy:n Jyväskylän toimipiste RAUTIO, Harri, toimistopäällikkö		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tilaaja oli Raksystems Anticimex Oy:n Jyväskylän toimipiste. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka muuttuva ilmasto vaikuttaa betonisiin julkisivuihin ja parvekkeisiin sekä näihin liittyviin rakenteisiin. Lisäksi työssä on kuvailtu jyväskyläläisessä asunto-osakeyhtiössä suoritettu kuntotutkimus sekä tutkimuksen aikana kerättyjen näytteiden laboratoriotutkimusten tuloksia.</p> <p>Työ toteutettiin kesän ja syksyn 2011 aikana. Enimmäkseen työn toteutus koostui kirjallista aineistoa tutkimalla ja tämän pohjalta päätelmiä tekemällä. Työhön saatiin koottua tietoa myös kuntotutkimusmenetelmistä, betonin vaurioitumismekanismeista ja muuttuvan ilmaston vaikutuksista Suomen tuleviin ilmasto-olosuhteisiin. Käytännönläheisempää aineistoa työhön saatiin myös yhden päivän kestäneestä kuntotutkimuksesta.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista kävi ilmi, että muuttuva ilmasto voi vaikuttaa merkittävästikin rakenteiden kestävyysasteeseen. Muutokset eivät aina välttämättä ole huonoja, vaan niistä voi joissain tapauksissa seurata hyvääkin rakenteen kestävyyttä ajatellen.</p> <p>Tutkimuksen tuloksia voivat käyttää hyväksi niin asunto-osakeyhtiöt, isännöitsijät, korjausrakennusyritykset kuin kuntotutkijatkin arvioidessaan rakenteiden kestävyyttä ja vaurioitumisalttiutta tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Tutkimus kattavine tietoperustaosioineen sekä esimerkkikohteineen soveltuu myös muutoin kuntotutkimuksesta kiinnostuneille henkilöille.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kuntotutkimus, ilmastonmuutos, betonijulkisivut ja -parvekkeet		
Muut tiedot		



Author(s) VESTERINEN, Timo	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 20.2.2012
	Pages 75	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until	Permission for web publication <input checked="" type="checkbox"/>
Title CONDITION SURVEY OF CONCRETE FACADES AND BALCONIES AND EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON CONSTRUCTIONS		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) PITKÄNEN, Reijo		
Assigned by Raksystems Anticimex Oy, Jyväskylä office RAUTIO, Harri, office manager		
Abstract <p>This bachelor's thesis was assigned by Raksystems Abticimex Oy. The target of the project was to examine how the climate changes affect the concrete facades, balconies and structures connected to those. In addition, there is a description of a condition survey which was carried out in a housing corporation in Jyväskylä. The description includes the laboratory results of the samples taken during the condition survey.</p> <p>The work was conducted during the summer and autumn of 2011. The survey mostly consisted of studying literature and drawing conclusions based on these various sources. Additional aims were to collect information about different mechanisms damaging concrete, condition survey methods and how the climate change is going to affect Finnish climate. The one- day- long condition survey and its description offer more practical information.</p> <p>The results of the survey show that the climate change may have a significant impact on the resistance of the structures. The changes are not always negative because in some cases they can reduce the stress on the structures.</p> <p>The results of the survey can be used by housing corporations, property managers, renovation companies and condition surveyors. The thesis may be useful while estimating the resistance of the structures and what kind of damage the future climate may cause to them. The thesis is also a useful source of information for people who are for some reason interested in issues connected with condition surveys.</p>		
Keywords Condition survey, climate change, concrete facades and -balconies		
Miscellaneous		

## ALKUSANAT

Betonisten julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimusta sekä muuttuvan ilmaston vaikutuksia käsittelevä opinnäytetyöni on tehty pääosin kesän ja syksyn 2011 aikana. Työn tilaajana toimi Insinööritoimisto Raksystems Anticimex Oy:n Jyväskylän toimipiste.

Haluan esittää kiitokseni kaikille tutkimuksen suorittamiseen osallistuneita henkilöitä ja tahoja. Erityiskiitos Harri Rautiolle ja Raksystems Anticimex Insinööritoimisto Oy:n Jyväskylän toimipisteelle mahdollisuudesta päästä tekemään tutkimusta sekä Reijo Pitkäselle työni ohjauksesta.

Jyväskylässä 2.2.2012

Timo Vesterinen

## SISÄLTÖ

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	6
1.1 Taustat.....	6
1.2 Tavoitteet, rajaus ja toteutus.....	7
1.3 Toimeksiantaja.....	7
2 BETONIRAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN.....	8
2.1 Yleistä.....	8
2.2 Betonirakenteiden kosteusrasitus.....	9
2.2.1 Yleistä.....	9
2.2.2 Betonijulkisivujen kosteusrasitukset.....	9
2.2.3 Betoniparvekkeiden kosteusrasitukset.....	10
2.3 Raudotteiden korroosio.....	11
2.3.1 Yleistä.....	11
2.3.2 Betonin karbonatisoituminen.....	13
2.3.3 Kloridit.....	14
2.3.4 Korroosion nopeus rakenteissa.....	15
2.3.5 Korroosion vaikutukset rakenteisiin.....	16
2.3.5.1 Ulkoseinäelementit.....	16
2.3.5.2 Parvekerakenteet.....	16
2.4 Betonin rapautuminen.....	17
2.4.1 Yleistä.....	17
2.4.2 Pakkasrapautuminen.....	17
2.4.3 Ettringiittireaktio.....	19
2.4.4 Alkalirunkoainereaktio.....	19
2.4.5 Rapautumisen vaikutukset rakenteisiin.....	20
2.4.5.1 Ulkoseinäelementit.....	20
2.4.5.2 Parvekerakenteet.....	20
2.5 Puutteet kosteusteknisessä toimivuudessa.....	21
2.6 Kiinnitysten heikkeneminen.....	22
2.6.1 Ulkoseinäelementtien kiinnitysten heikkeneminen.....	22

2.6.2 Parvekkeiden kiinnitysten heikkeneminen.....	23
2.7 Pintatarvikkeiden irtoaminen ja vaurioituminen.....	24
2.8 Pintakäsittelyn turmeltuminen.....	24
2.9 Betonin muodonmuutokset ja halkeilu.....	25
2.9.1 Yleistä.....	25
2.9.2 Julkisivuelementit.....	26
2.9.3 Parvekkeet.....	27
2.10 Muut korjaustarvetta aiheuttavat tekijät.....	27
2.10.1 Asbesti.....	27
2.10.2 Mikrobit.....	27
2.10.3 PAH-yhdisteet.....	28
2.10.4 PCB- ja lyijy-yhdisteet.....	28
2.10.5 Aiemmat korjaukset.....	28
<b>3 KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT.....</b>	<b>29</b>
3.1 Yleistä.....	29
3.2 Raudoitteiden korroosion tutkimusmenetelmät.....	29
3.2.1 Betonin karbonatisoitumissyvyyden mittaus.....	29
3.2.2 Raudoitteiden peitepaksuuden mittaus.....	30
3.2.3 Betonin kloridipitoisuuden määrittäminen.....	31
3.3 Betonin rapautumisen tutkiminen.....	32
3.3.1 Yleistä.....	32
3.3.2 Kenttätutkimukset.....	32
3.3.2.1 Vasarointi.....	32
3.3.2.2 Rakenteiden silmämääräinen tarkastelu.....	32
3.3.3 Laboratoriotutkimukset.....	33
3.3.3.1 Betonin mikrorakennetutkimus.....	33
3.3.3.2 Vetokoe.....	34
3.3.3.3 Betonin suojahuokossuhteen määrittäminen.....	35
3.4 Muut tutkimusmenetelmät.....	36
3.4.1 Kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen tutkiminen.....	36
3.4.2 Kosteusteknisten puutteiden tutkiminen.....	37

3.4.3 Pintatarvikkeiden tutkiminen.....	38
3.4.4 Pintakäsittelyn tutkiminen.....	39
3.4.5 Halkeilun ja muodonmuutosten tutkiminen.....	40
3.4.6 Aiempien korjausten tutkiminen.....	41
3.4.7 Ympäristölle ja terveydelle vaarallisten aineiden ja yhdisteiden tutkiminen.....	42
3.4.7.1 Maalin asbestipitoisuuden määrittäminen.....	42
3.4.7.2 Mikrobiologiset tutkimukset.....	42
3.4.7.3 Saumaussmassojen PCB- ja lyijypitoisuuden tutkiminen.....	44
3.4.8 Liittyvät tutkimukset ja selvitykset.....	44
3.4.9 Näytteenotto.....	45
3.4.10 Harvemmin käytetyt tutkimusmenetelmät.....	47
3.4.10.1 Betonin puristuslujuuden määrittäminen.....	47
3.4.10.2 Kosteusmittaus.....	47
3.4.10.3 Tähystys.....	47
3.4.10.4 Lämpökuvaukset.....	48
3.4.10.5 Raudotteiden potentiaalimittaus.....	48
3.4.10.6 Betonin kimmoarvojen määrittäminen.....	48
3.4.10.7 Koekuormitus.....	49
4 MUUTTUVAA ILMASTOA.....	49
4.1 Hiilidioksidi.....	49
4.2 Ultravioletti säteily.....	50
4.3 Suomen ilmaston muuttuminen.....	51
4.4 Muuttuvan ilmaston vaikutukset rakenteisiin.....	53
4.4.1 Raudotteiden korrosio.....	53
4.4.2 Pakkasrapautuminen.....	54
4.4.3 Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus.....	56
4.4.4 Ultravioletti säteily.....	57

5 KUNTOTUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	58
5.1 Kuntotutkimuksen vaiheet.....	58
5.2 Toteutetut tutkimukset.....	60
5.2.1 Yleistä.....	60
5.2.2 Kenttätutkimukset.....	60
5.2.3 Laboratoriotutkimukset.....	64
5.2.4 Korjaussuositukset.....	70
5.2.4.1 Julkisivut.....	71
5.2.4.2 Parvekkeet.....	71
6 YHTEENVETO.....	73
LÄHTEET.....	75



## KUVIOT

KUVIO 1. Terästen korroosion aiheuttamia vaurioita.....	12
KUVIO 2. Näytelieriön poraaminen timanttiporalla.....	46
KUVIO 3. Ihmiskunnan hiilidioksidipäästöjen ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden arvioitu kehitys.....	50
KUVIO 4. Suomen lämpötilojen ja sademäärien muuttuminen .....	52
KUVIO 5. Vetenä tai räntänä tullut vuotuinen sade Jyväskylän lentoasemalla.....	53
KUVIO 6. Kuntotutkimuksen suositeltava eteneminen.....	59
KUVIO 7. Näytelieriöiden suihkutusta fenoliftaleiiniliuoksella.....	62

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Julkisivunäytteet.....	65
TAULUKKO 2. Parvekenäytteet.....	66
TAULUKKO 3. Kloridipitoisuudet.....	67
TAULUKKO 4. Maalipinnoitteen asbestianalyysi .....	67
TAULUKKO 5. Koekappaleiden vetolujuusarvot .....	68
TAULUKKO 6. Julkisivun elementtisauman PCB- ja lyijypitoisuudet.....	69
TAULUKKO 7. Ohuthietutkimus.....	70

# 1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Taustat

Muuttuva ilmasto ja sen vaikutukset voivat koskettaa pahimmassa tapauksessa hyvinkin radikaalisti ihmisten elämää niin Suomessa kuin ympäri maailmaakin. Muutokset tulevat vaikuttamaan tavalla tai toisella jokaiseen maapallon asukkaaseen. Ilmastonmuutoksen vaikuttaessa ihmisiin joutuvat myös rakennukset ja niiden osat uudenlaisten ilmasto-olosuhteiden vaikutusten alaisiksi. Muutosten aiheuttamat vaikutukset voivat olla sekä hyviä että huonoja. Tutkimuksen aihe on hyvinkin ajankohtainen ja mielenkiintoinen.

Aiheen ajankohtaisuutta kuvaa se, että monet ovat voineet havaita muutoksia ilmastossa aivan viime vuosina. Kaikkea poikkeuksellista mitä ilmasto-olosuhteisiin liittyy, ei kuitenkaan voida laittaa suin päin ilmastonmuutoksen syyksi. Ilmastoon on aina liittynyt ja tulee aina liittymään normaalia poikkeamaa. Parin viimeisen vuoden ilmasto-olot ovat kuitenkin olleet varsin poikkeukselliset. On koettu mm. ennätyshelteitä, poikkeuksellisen pitkiä ja kovia pakkasjaksoja sekä harvinaisen rajuja myrskyjä. Ilmaston muutos ja sen vaikutukset ovatkin lähes jokapäiväinen keskustelunaihe eri medioissa.

Ilmastonmuutos johtuu pääosin ihmisten toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Päästöjen määrä on lisääntynyt jatkuvasti teollisen vallankumouksen alkua ajoista lähtien. Tutkijoiden havaittua kasvihuonekaasujen vaikuttavan ilmastoon järjestettiin ensimmäinen poliittinen maailman ilmastonkonferenssi Genevessä vuonna 1979. Tämän jälkeen on järjestetty useita eri konferensseja, joissa on ollut tarkoitus päättää ilmastonmuutosta hillitsevistä toimista, mutta tulokset ovat olleet varsin vaatimattomia. Tästä syystä ilmastonmuutosta ei ole voitu pysäyttää, ja tutkijat ovat pyrkineet selvittämään, millaisia vaikutuksia tällä kehityksellä tulevaisuuden kannalta on.

## 1.2 Tavoitteet, rajaus ja toteutus

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisille sääolosuhteille rakennukset tulevaisuudessa altistuvat Suomessa ja minkälaisia vaikutuksia näistä olosuhteista rakenteille on. Tutkimus keskittyi vain betonisten julkisivujen ja parvekkeiden sekä näihin liittyvien rakenteiden tulevaisuudennäkymien selvittämiseen. Tarkoituksena oli tarjota asunto-osakeyhtiöille, isännöitsijöille sekä korjausrakennusyrityksille ja kuntotutkijoille mahdollisesti uutta tietoa aiheesta. Aiheen tarkempi tutkiminen oli ja on edelleen tarpeen, jotta voidaan ennalta varautua muutosten vaikutuksiin. Muuttuvan ilmaston betonisille julkisivuille ja parvekkeille aiheuttamista ongelmista ja vaurioista ei ollut saatavilla kovinkaan paljon aiemmin tutkittua tietoa, joten asiasta keskityttiin saamaan lisää kirjoitettua informaatiota. Tutkimuksessa on keskitytty selvittämään kasvihuonekaasujen aiheuttaman ilmastonmuutoksen sekä muuttuvan UV-säteilyn määrän ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden vaihteluiden vaikutuksia ko. rakenteille.

Muuttuvan ilmaston vaikutusten lisäksi työssä on kerrottu myös julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimusmenetelmistä ja rakenteiden vaurioitumismekanismista. Tutkimusaineisto on koottu suurimmaksi osaksi aiheeseen liittyvistä uusimmista kirjallisista ja internet-lähteistä. Tutkimusta tehdessä minulla oli mahdollisuus päästä mukaan suorittamaan kerrostalon julkisivu- ja parvekekuntotutkimusta. Työhön on liitetty kuvaus suoritettun tutkimuksen etenemisestä ja tuloksista sekä muutamia kuvia paikan päältä.

## 1.3 Toimeksiantaja

Raksystems Anticimex toimii rakennus- ja kiinteistöalalla sekä elintarvikehygieniaan liittyvissä toiminnoissa. Yritys on osa ruotsalaisen pörssiyhtiö Ratoksen omistamaa Anticimex-konsernia, joka on Pohjoismaiden suurin kuntotutkimusyhtiö. Anticimex Ab:n perustaminen tapahtui Ruotsissa vuonna 1934 ja Insinööritoimisto Raksystems Oy perustettiin vuonna 1989. Raksys-

tems Anticimexillä on toimintaa Suomen ja Ruotsin lisäksi myös Norjassa, Tanskassa, Saksassa ja Hollannissa. Konsernin liikevaihto vuonna 2010 oli 195 miljoonaa euroa ja konsernilla on noin 1900 työntekijää. (Raksystems Anticimex n.d.)

## **2 BETONIRAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN**

### **2.1 Yleistä**

Ilmaston ja muiden rasitusten vaikutuksesta betonirakenteissa tapahtuu muutoksia, joiden seurauksena rakenteiden ominaisuudet heikkenevät. Julkisivuihin ja parvekkeisiin kohdistuvia rasituksia aiheuttavat mm. lämpö, kosteus, säteily, jotkin haitalliset aineet kuten kloridit ja hiilidioksidi, tuuli ja pakkasrasitus. Näiden tekijöiden voimakkuus riippuu mm. siitä, missä rakennus sijaitsee, rakennuksen ympäristöstä, korkeudesta, ilmansuunnasta ja yksityiskohdista (esim. detaljisuunnittelu). Rakenteiden vaurioitumisen alkaessa haitat ovat etupäässä vain esteettisiä, mutta vaurioitumisen edetessä voi ilmetä myös riskejä turvallisuuden kannalta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 17.)

Huomattavimmat Suomessa esiintyvät betonijulkisivujen ja -parvekkeiden vaurioon johtavat syyt ovat

- betonin pakkasrapautuminen
- raudotteiden korroosio betonin karbonatisoitumisen tai kloridirasituksen seurauksena. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 17.)

Muita huomattavia vaurioitumisilmiöitä ovat

- puutteet kosteusteknisissä kysymyksissä
- vauriot kiinnityksissä, kannatuksissa ja sidonnoissa
- vauriot pintatarvikkeissa
- vauriot pintakäsittelyssä

– rakenteiden halkeilut ja muodonmuutokset. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 17.)

Mietittäessä korjaustarvetta ja käytettäviä menetelmiä tulee ottaa huomioon myös erinäiset rakenteissa mahdollisesti olevat ympäristölle ja terveydelle haitalliset yhdisteet. Lisäksi tulee huomioida aikaisemmin rakenteille suoritettut virheelliset tai käyttöään ylittäneet korjaukset. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 17.)

## **2.2 Betonirakenteiden kosteusrasitus**

### **2.2.1 Yleistä**

Eri muodoissa esiintyvä kosteus on useimmille rakenteille pahin rasitustekijä, ja on osallisena miltei kaikissa merkityksellisimmissä vaurioitumisilmiöissä. Betonisten julkisivujen ja parvekkeiden vaurioitumisilmiöiden näkökannalta käytön aikaiset kosteusrasitukset ovat huomattavimpia. Merkittävimmät kosteuden lähteet ovat sade, ulkoilman kosteus sekä pinnoille tiivistyvä kosteus. Rakenteisiin voi siirtyä kosteutta myös sisäilmasta, maaperästä eri muodoissa, rakennuksessa käytettävästä vedestä sekä vuotovesistä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 17.)

Yleisesti etelästä ja lännestä tulevat sateet ovat Suomessa tulleet vetenä tai räntänä ja pohjoisesta taas lumena. Tästä syystä pakkasrapautuminen on yleisempää eteläisillä ja läntisillä julkisivuilla. Sama pätee myös raudotteiden korroosion aiheuttamien näkyvien vaurioiden osalla. (Lahdensivu 2010, 15.)

### **2.2.2 Betonijulkisivujen kosteusrasitukset**

Huomattavin julkisivuihin kohdistuva käytönaikainen kosteusrasitus johtuu viisitosateesta. Suurin rasitus kohdistuu korkeissa rakennuksissa seinien yläosiin varsinkin, mikäli rakennuksessa ei ole kunnan räystäitä ja se sijaitsee avoimel-

la maastolla. Betonin laatu ja pinnan tyyppi, kuten pinnoituskäsittely, vaikuttavat betoniin imeytyvän veden määrään. Sateella vesi pääsee tunkeutumaan eristetilaan vuotavien saumojen ja huonosti toimivien liitosdetaljiien kautta. Eristetilaan päästyään vesi valuu alas ja kerääntyy ikkunan päällisiin ja sokkeleihin. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 18.)

Uritetun villan käyttö sandwich-elementeissä on yleistynyt vasta 1990-luvulla, ja tätä ennen sitä käytettiin vain klinkkeripintaisissa elementeissä. Tuulettomattomien rakenteiden kuivuminen on mahdollista vain ulkokuoren ulkopinnasta haihtumalla. Rakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttavat oleellisesti myös käytetyt pintamateriaalit ja -käsittelyt sekä betonin laatu. Klinkkerilaattapinta hidastaa kuivumista todella tehokkaasti. Tiililaattapinta taas päästää veden helposti lävitseen, mutta kuivuu toisaalta myös helposti. Pintakäsittelyn vaikutus kuivumisnopeuteen riippuu sen ominaisuuksista ja kunnosta. Kovemman lujuusluokan julkisivuissa diffuusiovirta ulkokuoren lävitse on todella hidasta. Saumoihin asennettavat tuuletusputket kuivaavat etupäässä vain sauman takana olevaa ilmatilaa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 18.)

### 2.2.3 Betoniparvekkeiden kosteusrasitukset

Lasittamattomien parvekelaattojen yläpinnat ovat lähes täysin alttiita sadeveden ja lumen aiheuttamalle kosteusrasitukselle ja ne ovat märkiä usein pitkiäkin aikoja. Parvekkeiden pystypinnat, kuten pielet ja kaiteet, ovat alttiina viistosateelle. Kosteusrasituksen suuruutta lisäävät paikallisesti vedenpoiston ja yksityiskohtien suunnittelupuutteet (esim. laastisaumat ja virheelliset pellitykset). Parveke on yleensä kylmä, joten sisältä tuleva lämpövirta ei kuivata sitä kuten ulkoseinärakenteita. Vesi imeytyy rakenteeseen kapillaarisesti ja haihtuu kuivana aikana. Parvekkeen pintakäsittely vaikuttaa sekä veden imeytymiseen ja haihtumiseen kuten seinärakenteissakin. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 18.)

## 2.3 Raudoitteiden korroosio

### 2.3.1 Yleistä

Teräkset ovat tavallisesti hyvässä suojassa korroosion vaikutuksilta betonin sisällä. Betonin korkeasta emäksisyydestä johtuen terästen ympärille muodostuu ohut oksidikerros, mikä suojaa niitä hyvin sähkökemialliselta korroosiolta (ns. teräksen passivoituminen). Lisäksi tarpeeksi paksu suojabetonikerros suojaa teräksiä aggressiivisilta aineilta, kuten hapoilta ja klorideilta. Teräkset voivat kuitenkin menettää passiivisuutensa, jolloin korroosio voi alkaa. Pääsääntöisesti tähän on olemassa kaksi eri tekijää, jotka ovat betonin karbonatisoituminen ja kloridien pääsy kosketuksiin terästen kanssa. Korroosion nopeuteen vaikuttavat pääasiassa ympäristöolosuhteet, betonin laatu ja suojabetonin paksuus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 19.)

Korroosiota aiheuttavien aineiden tunkeutuminen vaikeutuu, mitä syvemmälle rakenteeseen mennään. Tästä syystä betonipeitteen suojaava vaikutus kasvaa suuremmissa suhteissa kuin itse suojabetonikerroksen paksuus. (Betonitekniikan oppikirja 2005, 97.)

Korroosiosta johtuen raudoitteiden pinnasta liukenee materiaalia, minkä seurauksena niiden poikkipinta-ala pienenee ja rakenteen kantavuus laskee. Näin syntyvät korroosiotuotteet tarvitsevat alkuperäistä suuremman tilavuuden ja aiheuttavat suojabetonikerroksen halkeilua ja lohkeilua sekä joskus myös sisäistä halkeilua. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 19.)

Kuviossa 1 on esitetty julkisivuelementissä aivan rakenteen pinnassa, karbonatisoituneessa betonissa sijaitsevien terästen korroosion vaikutuksia rakenteelle.



KUVIO 1. Terästen korroosion aiheuttamia vaurioita

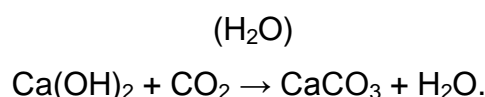
Terästen suojaus korroosiolta:

- tarpeeksi paksu ja laadukas suojabetonikerros
- pinnoite, joka estää veden, hiilidioksidin ja/tai kloridien pääsyn rakenteeseen (huomioitava pinnoitteiden huolto ja uusinta)
- sinkittyjen raudoitteiden käyttö (suojaa teräksiä vain karbonatisoituneessa betonissa)
- ruostumattomat raudoitteet (toimii myös kloridipitoisessa betonissa)
- epoksinnoitetut raudoitteet (mahdollisesti pistekorroosiota)
- katodinen suojaus toimii erityisesti kloridipitoisessa betonissa. Korroosiosuojaus toteutetaan tavallisesti suojabetonin avulla, mutta peitteen paksuudet ovat monesti olleet puutteelliset. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 20.)



### 2.3.2 Betonin karbonatisoituminen

Karbonatisoitumisella tarkoitetaan betonissa tapahtuvia neutraloitumisreaktioita, joiden vaikutuksesta betonin sisältämän huokosveden pH laskee. Reaktio tapahtuu ilmassa olevan hiilidioksidin reagoiessa betonin kalsiumhydroksidin kanssa seuraavasti:



(Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 21.)

Karbonatisoituminen alkaa betonin pinnasta ja etenee ajan myötä syvemmälle rakenteeseen suhteellisen tasaisena rintamana. Etenemisnopeus on hitaampaa tiiviimmässä betonissa. Karbonatisoitumisen nopeus hidastuu edettäessä syvemmälle, koska myös hiilidioksidin tunkeutuminen rakenteeseen vaikeutuu. Karbonatisoituneen betonin pH laskee noin 8,5:een. pH:n laskiessa betonin raudotteille antama suojaava oksidikerros voi tuhoutua. (Betonitekniikan oppikirja 2005, 98.)

Karbonatisoitumisnopeus riippuu pääosin seuraavista tekijöistä:

- betonin (ja pintarakenteen) diffuusiovastuksesta hiilidioksidin tunkeutumista vastaan
- ilman hiilidioksidipitoisuudesta
- karbonatisoituvan aineen määrästä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 21.)

Hiilidioksidin tunkeutumisenopeuteen vaikuttavat betonin huokosrakenne ja kosteuspitoisuus. Halkeamat edistävät hiilidioksidin tunkeutumista paikallisesti. Betonin vesisementtisuhteen laskiessa ja lujuuden lisääntyessä rakenteen tiiviys kasvaa, jolloin hiilidioksidin tunkeutuminen rakenteeseen vaikeutuu. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 21.)

Kosteuspitoisuuden lisääntyessä hiilidioksidin tunkeutuminen rakenteeseen vähenee veden täyttäessä huokosverkoston. Sateella on siis karbonatisoitumista hidastava vaikutus, ja pitkään märkänä olevien parvekelaattojen yläpinnalla karbonatisoituminen onkin varsin hidasta. Toisaalta jos ilman RH on alle 30%, karbonatisoituminen pysähtyy, koska reaktio tarvitsee vettä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 21.)

Rakenteen pinnoitteet tai pintatarvikkeet voivat hidastaa karbonatisoitumista estämällä hiilidioksidin diffuusion rakenteeseen (esim. tiiviit keraamiset laatat). Tiililaatat imevät valuvaiheessa betonista vettä samalla tiivistäen sitä. Tämä taas hidastaa karbonatisoitumista, koska tiivis pinta estää hiilidioksidin tunkeutumisen rakenteeseen. Myös jotkin suojaavat pinnoitteet hidastavat karbonatisoitumista, mutta niiden kohdalla tulee ottaa huomioon niiden käyttöiän rajallisuus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 22.)

Tuulettumattomien julkisivuelementtien ulkokuoren sisäpinnan karbonatisoituminen on varsin hidasta johtuen ilman vähäisestä vaihtuvuudesta. Tuulettuvassa rakenteessa taas sisäpinnan karbonatisoituminen on voimakkaampaa. Elementtien reunoilla ja aukkojen pielissä karbonatisoituminen etenee kolmelta suunnalta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 23.)

### 2.3.3 Kloridit

Betonissa, joka ei ole karbonatisoitunut, voi käynnistyä terästen korroosio, mikäli betonissa on riittävän korkea kloridipitoisuus. Tämä pitoisuus on noin 0,03-0,07 p-% betonin painosta. Julkisivu- ja parveke-elementtien valmistuksessa on voitu käyttää lisäaineena kalsiumkloridia ( $\text{CaCl}_2$ ), mikä voi edistää terästen korroosiota. Rakenteisiin voi päästä klorideja myös jään sulattamisesta suolalla ja rannikolla myös merivedestä. Kloridit aiheuttavat tyypillisesti pisteistä ja hyvin voimakasta korroosiota. Kloridikorroosion korroosiotuotteet liukenevat helpommin betonin huokosveteen kuin karbonatisoitumisen seurauksena syntyvät. Tästä syystä kloridikorroosio voi edetä pitkällekin, ennen

kuin ulkoisia vaurioita voi havaita. Tämän lisäksi korroosio ei tarvitse yhtä korkeaa lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta. Karbonatisoituminen nopeuttaa myös kloridikorroosiota. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 23-24.)

#### 2.3.4 Korroosion nopeus rakenteissa

Raudotteiden korroosionopeuteen vaikuttaa pääasiassa viisi tekijää, kun kyseessä on karbonatisoitunut ja/tai kloridipitoinen betoni:

- huokosverkoston kosteuspitoisuus (vaikuttaa toisaalta elektrolyyttien määrään ja toisaalta hapen saantiin)
- lämpötilan kohoaminen nopeuttaa korroosiota
- betonin kloridipitoisuus
- betonin tiiviys
- suojabetonikerroksen paksuus (vaikuttaa sekä kosteuspitoisuuteen ja toisaalta myös käytettävissä olevan hapen määrään). (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 24.)

Betonin sähkönjohtavuus kasvaa merkittävästi huokosverkoston suhteellisen kosteuden lisääntyessä. Korroosio alkaa, kun betonin suhteellinen kosteus ylittää 65-70 % RH:n. Korroosion nopeus kasvaa merkittävästi vasta, kun suhteellinen kosteus nousee yli 80-85 % RH:n tasoon. Toisaalta korroosion nopeus hidastuu silloin, kun betoni on jatkuvasti märkää. Tällöin huokosverkko täyttyy vedellä, jolloin hapen diffuusio rakenteeseen hidastuu. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 24.)

Ulkoilmaan rajoittuvissa ja useimmissa ulkobetonirakenteissa vallitsee tyypillisesti olosuhteet, joissa korroosio voi olla käynnissä. Betonirakenteiden kosteuspitoisuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Näitä tekijöitä ovat mm. eri kosteuslähteet (esim. sade) ja rakenteiden kuivumisolosuhteet (esim. rakenteen ja ulkoilman välinen lämpötilaero, tuuli, auringon paiste ja pintakäsittelyt). (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 25.)

Aktiivisen korroosion nopeus riippuu paljolti betonin kosteudesta ja lämpötilasta. Sateelle alttiilla pinnoilla korroosion nopeus on suurempi kuin pinnoilla, jotka ovat suojassa sateelta. Betonirakenteeseen syntyvät halkeamat tyypillisesti vielä nopeuttavat korroosiota. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 25.)

### 2.3.5 Korroosion vaikutukset rakenteisiin

#### 2.3.5.1 Ulkoseinäelementit

Ongelmallisimpia kohtia ovat tyypillisesti elementtien pieli- ja reunateräkset, joissa betonipeitepaksuudet ovat usein puutteellisia, ja lisäksi näillä kohdilla karbonatisoituminen etenee kaikilta kolmelta suunnalta. Kuntotutkimuksen yhteydessä tulee tarkastaa myös ansaspaarteiden tai muiden kiinnitysosien korrosio, kiinnitysvoimia ankkuroivien raudoitteiden tai sen tartunnan heikkeneminen ja palkkimaisten nauhaelementtien staattisen raudoituksen korrosio. Yleensä ulkoseinäelementin verkko- tai pieliraudoitteiden korrosio aiheuttaa alkuvaiheessa vain esteettisiä ongelmia. Pidemmälle edetessä se voi tosin heikentää ulkokuoren lujuutta ja kiinnityksiä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 26.)

#### 2.3.5.2 Parvekerakenteet

Parvekkeiden ongelma-alueita ovat yleensä ohuet kaiderakenteet ja erilaiset pieliraudoitteet, joissa peitepaksuudet ovat monesti liian pienet. Nämä aiheuttavat yleensä tosin vain esteettisiä ongelmia. Tosin aina betonin lohkeillessa rakenteesta saattaa irrota kappaleita, mitkä voivat pudotessa aiheuttaa vaaraa. Hoikkien pilareiden lohkeilu terästen korroosion seurauksena voi vaikuttaa rakenteen toimivuuteen. Laattojen alapintojen korrosio on tavallisesti hidasta johtuen vähäisestä kosteusrasituksesta. Aktiivisen korroosion nopeus on suurinta vedeneristämättömissä laatoissa, toimimattomien vedenpoistorakenteiden kohdilla sekä kosteutta keräävissä liitosrakenteissa ja yksityiskohdissa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 26.)

## 2.4 Betonin rapautuminen

### 2.4.1 Yleistä

Betoni rapautuu seuraavien turmeltumisilmiöiden vaikutuksesta:

- pakkasrapautuminen
- ettringiittireaktio
- alkalirunkoainereaktio

Suomalaisissa olosuhteissa näistä merkittävin rapautumisilmiö on pakkasrapautuminen. Muutkin ovat kuitenkin mahdollisia yksittäistapauksina. Kaikki edellä mainitut rapautumisilmiöt aiheuttavat lähes samanlaisia näkyviä vaurioita, joten silmämääräisesti vaurion syytä on vaikea tunnistaa. Kaikki rapautumisilmiöt vaativat kuitenkin korkean kosteusrasituksen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 27.)

### 2.4.2 Pakkasrapautuminen

Tämän tyyppinen rapautuminen aiheutuu paineesta, jonka jäätyvä vesi betonin huokosverkostossa synnyttää. Lämpötilan jälleen noustessa jääkiteen tilavuus kasvaa ja rasitus kasvaa entisestään. Huokosverkostossa oleva vesi laajenee noin 9 tilavuusprosenttia jäätyessään. Betonissa tulee olla ilmahuokosia, joiden avulla jäätymlaajenemisen aiheuttamat vauriot voidaan välttää. Huokokset eivät saa täytyä vedellä kapillaarivoimien vaikutuksesta, jotta laajeneva vesi voi tunkeutua niihin jäätyessään. Näitä suojahuokosia tulee olla riittävän lähellä toisiaan ja jakautuneena tasaisesti sementtikivessä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 27-28.)

Riittävästi suojahuokosia saadaan aikaan vain käyttämällä lisähuokostusainetta. Nämä kapillaarihuokosia suuremmat huokokset eivät täyty vedellä, vaikka betoni olisi pitkäänkin kosketuksissa veden kanssa. Suojahuokosten halkaisija on käytännössä 0,15-0,30 mm. Huokosten keskimääräisen etäisyyden puoli-

kas on etäisyystekijä tai huokosjako. Tämän etäisyystekijän tulee olla n. 0,20-0,25 mm. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 28.)

Julkisivujen lisähuokostus tuli käyttöön vasta 1970-luvun puolivälissä. Ennen tätä rakennetut huokostamattomat rakenteet ovat kuitenkin voineet kestää pakkasrasitukset, jolle ne ovat altistuneet, jos betoni on vain ollut tarpeeksi luja (tiivistä) ja rakenteet eivät ole altistuneet liian suurelle kosteusrasitukselle. Vanhoja rakenteita korjattaessa tulisi aina pyrkiä pienentämään kosteusrasitusta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 29.)

Myös betonin tiiviyden ja lujuuden kasvattaminen parantavat sen pakkasenkestävyyttä. Betonin vedenimukykyä ja -nopeutta voidaan pienentää tarpeeksi alhaisella vesisementtisuhteella (lisää myös betonin lujuutta), jolloin myös betonissa olevan jäätyvän veden määrä vähenee. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 29.)

Vaurioiden syntymisen keskeinen tekijä on myös rasitusolosuhteet ja rasitusykkien lukumäärä. Rannikolla ja Etelä-Suomessa rasitusolosuhteet ovat ankarimmat verrattuna sisämaahan ja Suomen pohjoisosiin. Viistosade rasittaa pahiten avoimen maaston korkeiden rakennusten yläosia ja nurkkia. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 29.)

Pakkasrapautuminen aiheuttaa betonin säröilyä samalla heikentäen betonin lujuutta ja edistäen veden imeytymistä. Pitkälle edetessä pakkasrapautumisen seurauksena rakenteen pinta halkeilee, elementit kaareutuvat ja lopulta betoni lohkeilee. Silmämääräisesti tai vasaroimalla ei alkuvaiheessa pakkasrapautumista voida havaita, vaan sen toteaminen vaatii tarkempia tutkimuksia. Betonin veto- ja puristuslujuus heikkenevät pakkasrapautumisen seurauksena kuten myös raudoituksen tartunta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 30.)

### 2.4.3 Ettringiittireaktio

Ettringiittireaktiossa sulfaattimineraalit reagoivat kemiallisesti kovettuneessa sementtikivessä, ja näin syntyneet reaktiotuotteet laajenevat voimakkaasti. Muodostuva ettringiittimineraali täyttää suojahuokosia ja heikentää betonin pakkasenkestävyyttä. Reaktio voi siis edistää pakkasrapautumista, ja lisäksi reaktiotuotteet voivat täyttää suojahuokokset niin, että niissä syntyvä paine on tarpeeksi suuri aiheuttamaan säröjä betoniin. Jotta reaktio voi edetä, tulee rakenteeseen kohdistua voimakas kosteusrasitus. Silmämääräisesti on vaikeaa erottaa normaalin pakkausrapautumisen ja ettringiittireaktion vaurioittamaa rakennetta toisistaan. Liian voimakas lämpökäsittely aiheuttaa muutoksia sementin kovettumisreaktioissa ja on yleisin syy ettringiittireaktioon.

(Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 31.)

### 2.4.4 Alkalirunkoainereaktio

Alkalirunkoainereaktio (alkalikiviainesreaktio) on paisumisreaktio betonissa käytetyssä kiviaineksessa. Reaktio johtuu sementtikiven alkalisuudesta ja voi aiheuttaa betonin rapautumista. Jotta alkalikiviainesreaktio on mahdollista, pitää kaikkien seuraavien edellytysten täyttyä rakenteessa:

- sementin tulee sisältää runsaasti alkaleja (natrium, kalium)
- kiviaineksen mineraalit kestävät heikosti alkalisuutta
- betonin kosteuspitoisuuden tulee olla riittävän korkea. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 32.)

Suomalaisilla kivilajeilla alkalirunkoainereaktio on harvinaista niiden hyvän kemiallisen kestävyuden vuoksi. Riskiä voi tosin kasvattaa lisääntyvä murskatun kiviaineksen käyttö, sillä kallioperän mahdolliset vaihtelut ovat tasaantuneet nykyisin käytetyissä irtomaalajeissa. Reaktion riskiä lisää myös ulkomaisen kiviaineksen käyttö. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 32.)

Alkalikiviainesreaktiolle tyypillisiä piirteitä ovat pinnan kosteudesta aiheutuva laikkuus, suunnaltaan epäsäännöllinen ja tiheä verkkohalkeilu sekä paisuminen. Halkeamien kautta tunkeutuu ulos myös geelimäistä reaktiotuotetta. Vauriot muistuttavat läheisesti pakkarapautumisen aiheuttamaa halkeilua ja alkalikiviainesreaktio vaikuttaakin usein yhdessä pakkasrasituksen kanssa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 32-33.)

#### 2.4.5 Rapautumisen vaikutukset rakenteisiin

##### 2.4.5.1 Ulkoseinäelementit

Betonin rapautuminen aiheuttaa ulkoseinäelementeille rakenteellisia ongelmia esim. raudoitteiden ankkuroinnissa ja kerroksellisten ulkokuorien yhteydessä (mm. pesubetoni). Elementtien ulkokuoret eivät kuitenkaan toimi rakennuksen kantavina rakenteina, joten niiden vaurioituminen ei yleensä vaikuta suoranaisesti kantavuuteen. Ulkokuorta voidaan tarvita tosin sisäkuoren jäykistykseen. Kerroksellisissa ulkokuorissa, kuten pesubetonielementeissä, koko ulomman kerroksen kiinni pysyminen voi vaarantua, mikäli taustabetonin rapautuminen pääsee etenemään kovin pitkälle. Tämä johtuu siitä, että taustabetonin rapautumista ei voi nähdä päällepäin. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 33.)

##### 2.4.5.2 Parvekerakenteet

Tyypillisintä rapautuminen näissä rakenteissa on heikkolujuuksista betonista (lujuus  $\leq$  C 25/30) tehdyissä kaiderakenteissa ja pielissä. Ohuet pilarit ovat myös alttiita rapautumiselle. Kohdat, joihin kohdistuu voimakas kosteusrasitus, ovat alttiimpia rapautumiselle. Tällaisia kohtia ovat mm. huonosti toteutetut liittymät. Pitkälle edetessä rapautuminen voi heikentää rakenneosien kiinnityksiä tai vaarantaa koko parvekerakenteen kantavuuden. Rapautuminen kiihdyttää usein myös raudoitteiden korroosiota. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 33-34.)



Elementtirakenteisten betonilaattojen rapautuminen ei ole kovin yleistä johtuen niissä käytetyn betonin korkeammasta lujuudesta ( $\geq$  C 30/37) ja tiivyydestä. Paikallavaaletut ulokeparvekkeet taas ovat alttiimpia rapautumiselle, koska niissä käytetty betoni on yleensä heikompileaatuista. Erityisen alttiita rapautumiselle ovat paikallavalettujen parvekkeiden etureunat, joissa on usein hyvin puutteellinen vedenpoisto ja -eristys. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 34.)

## **2.5 Puutteet kosteusteknisessä toimivuudessa**

Yleiset sääolosuhteet aiheuttavat suuren kosteusrasituksen julkisivu- ja parvekeraketeille. Myös ulkoseiniin rajoittuvat kosteat tilat voivat aiheuttaa merkittävän kosteusrasituksen. Kosteusrasituksen suuruus vaikuttaa merkittävästi useimpien vauriomekanismien käynnistymiseen ja etenemisnopeuteen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 34.)

Yleisesti julkisivuihin ja parvekkeisiin liittyy rakenteita ja kerroksia, joiden tarkoitus on kosteuden kulun hallinta (kastumisen estäminen ja kuivumisen edistäminen). Näitä osia ovat mm:

- elementtien saumat (julkisivusaumat, ikkuna- ja oviliitokset sekä parvekelementtien väliset saumat) ja liitokset muihin rakenteisiin
- rakenteiden tuuletukseen ja eristetilojen vedenpoistoon liittyvät rakenteet
- pellitykset
- räystäsrakenteet
- betonipintojen maalaus- ja pinnoituskäsittelyt
- erilaiset parvekkeiden vedenpoistojärjestelyt
- parvekkeiden lasitus.

Näiden osien kunnolla, toimivuudella sekä mahdollisella puuttumisella on merkittävä vaikutus rakenteiden kosteusrasituksen tasoon ja kuivumismahdollisuuteen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 34.)

Ongelmakohdat julkisivuissa ovat tyypillisesti liitoskohtien heikko tiiviys, betonin pintakäsittelyn huono kunto ja eristetilän vedenpoiston ja tuuletuksen puutteet. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 35.)

Parvekelaatoissa tulee erityisesti huomioida laatan vedeneristys ja sen liittyminen ympäröiviin rakenteisiin, oikeat kallistukset ja vedenpoistojärjestelyt, oikeaoppiset pellitykset ja laastisaumojen laadullinen toteutus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 35.)

Saumojen kunto vaikuttaa merkittävästi seinän kosteusrasituksen tasoon ja siksi niiden tulisi olla hyvässä kunnossa. Elastisilla saumausmassoilla toteutettujen saumojen turmeltumiseen vaikuttavan mm. seuraavat seikat:

- ulkoiset rasitusolosuhteet
- käytettävän saumausmassan laatu, kerroksen paksuus ja sauman muoto
- sauman liikkeet (sauman leveys)
- massan tartuntaan vaikuttaa saumattavien pintojen materiaali, laatu, esikäsitteleminen, puhtaus ja kosteus
- työolosuhteet
- saumausmassan pinnoitus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 34-35.)

Nopeasti saumoihin syntyvien vaurioiden syyt ovat todennäköisesti työvirheet ja huonot olosuhteet joissa työ on suoritettu. 5-10 vuoden sisällä ilmenevät saumojen halkeamat taas johtuvat liian suurista muodonmuutoksista (kapeissa saumoissa) ja yli 15 vuoden ikäisissä saumoissa vauriot johtuvat massan kovettumisesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 35.)

## **2.6 Kiinnitysten heikkeneminen**

### **2.6.1 Ulkoseinäelementtien kiinnitysten heikkeneminen**

Sandwich-rakenteiden kiinnityksen runkoon ei pitäisi olla vaurioitumisen kannalta kovinkaan riskialtis, sillä sisäkuoren kiinnikkeet tulevat sisäilmasto-

oloihin. Pääsääntöisesti vain sandwich-elementin ulkokuoren ja kuorielementtien kiinnitykset voivat vaurioitua. Nämä vaurioituvat yleisesti kolmella eri tavalla:

- Ansaidden tai muiden kiinnikkeiden tartunta heikkenee pakkasrapautumisen seurauksena.
- Ansaidden suojabetonikerros ja tiivistyminen ulkokuoreen ovat puutteelliset, ja eristetilan puolelta etenevän karbonatisoitumisen seurauksena ruostuvasta teräksestä valmistetut ansaat alkavat ruostua.
- Eristetilassa vallitsevat ankarat olosuhteet voivat heikentää ruostuvasta teräksestä valmistettuja ansaita tai niiden tartuntaa ulkokuoreen. Betonoimalla, bitumoimalla tai sementtivelliin kastamalla suojattujen ruostuvasta teräksestä valmistettujen kiinnikkeiden ei ole todettu kestävänsä erityisen hyvin. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 36.)

## 2.6.2 Parvekkeiden kiinnitysten heikkeneminen

Ongelmakohdat parvekkeiden kannatuksessa ja sidontaratkaisuissa ovat varsin monenkirjavia. Näitä ovat mm:

- Työvirheiden seurauksena ulokeparvekkeen yläpinnan raudoitusteräksset voivat painua, jolloin näiden terästen tehollinen korkeus on suunniteltua pienempi. Ulokeparvekkeissa myös eristehalkaisun läpi vedettyjen kiskojen ja betoniterästen korroosioriski ulokkeen tuella tulee huomioida.
- Parveketornien vaakasidonnat voivat olla korroosion heikentämiä tai työvirheiden seurauksesta puutteellisia.
- Ripustettujen parvekkeiden kannatusteräksset voivat vaurioitua korroosion seurauksena.
- Pakkasrapautuminen voi heikentää kiinnikkeiden sekä raudoitteen tartuntaa betoniin.
- Työvirheet hitsiliitoksissa sekä liitosten korroosio.
- Betonin lohkeilun aiheuttama tukipintojen pieneneminen.
- Juotosvalun rapautuminen voi heikentää liitoksia.

– Parvekkeiden kunnostus päälle valamalla ja ruiskubetonoinnilla lisää rakenteen painoa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 37.)

## **2.7 Pintatarvikkeiden irtoaminen ja vaurioituminen**

Pintatarvikkeiden irtoamisesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä klinkkerilaattapintojen ongelmia. Syitä laattojen irtoamiseen ovat mm. seuraavat syyt:

– Betonissa ja laatoissa tapahtuvat muodonmuutokset ovat erisuuruisia, jolloin pakkovoimat ylittävät laatan tartuntalujuuden ja laatta irtoaa. Näitä pakkovoimia aiheuttavat mm. betonin ja klinkkerilaattojen erilaiset pituuden lämpötilakertoimet ja kosteuden muutoksista aiheutuvat erisuuriset muodonmuutokset.

– Betonin pakkasrapautuminen aiheuttaa laattojen tartunnan pettämisen.

– Betonin raudoitteen korroosio ja siitä seuraava paine irrottaa laattoja. Yleinen erityisesti elementtien reuna-alueilla ja aukkojen pielissä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 37.)

Tillilaatan tartunta betoniin on tavallisesti klinkkerilaattaa parempi. Sen ongelmana on kuitenkin toisinaan pakkasrapautuminen paikoissa joissa laattoihin kohdistuu poikkeuksellisen suuri kosteusrasitus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 38.)

## **2.8 Pintakäsittelyn turmeltuminen**

Erilaisia pintakäsittelyjä ovat rappaukset, ohutrappaukset, pinnoitteet, maalit ja impregnointiaineet. Maalipinnan vaurioituminen on hyvin tavallista betonijulkisivujen yhteydessä. Orgaanisten maalipintojen vaurioituminen johtuu mm. seuraavista tekijöistä:

– auringon UV- ja lämpösäteily

– suuri kosteusrasitus ja kosteuden kulku pinnoitteen läpi

– betonin korkea alkalisuus yhdessä korkean kosteuspitoisuuden kanssa heikentää pinnoitteen tartuntaa

- suolojen kiteytyminen pinnoitteen taakse betonin kuivussa
- lujuudeltaan tai pakkasenkestävyydeltään heikko betonin pintakerros aiheuttaa pinnoitteen irtoamista
- julkisivuun kohdistuva mekaaninen rasitus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 39.)

Pääsääntöisesti orgaanisten pinnoitteiden vaurioituminen johtuu pinnoitteen tartunnan pettämisestä. Pinnoitteen tartunta voi heiketä, mikäli betonissa oleva kosteus ei pääse haihtumaan tiiviin pinnoitteen läpi. Tästä syystä mm. vedeneristeiden, CO<sub>2</sub>-tiivien pinnoitteiden ja muiden ns. suojaavien pinnoitteiden tulisi olla vesihöyryä läpäiseviä. Pinnoitteen säilyvyyttä heikentävät myös työvirheet (esim. likaiset, kosteat ja liian sileät alustat), maalaaminen vanhan maalin päälle ja valurakkulat, jolloin pinnasta ei tule yhtenäistä. Maalipinnan vaurioituminen on yleensä vain esteettinen ongelma. Kuitenkin on mahdollista, että vaurioituminen lisää rakenteen kosteusrasitusta koska pinnoitteen halkeamista vesi pääsee imeytymään rakenteeseen, mutta pinnoitekerros hidastaa veden haihtumista rakenteesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 40-41.)

Epäorgaanisten pinnoitteiden kuten sementti- ja kalkkisementtimaalien vaurioituminen johtuu yleensä pinnoitteen huonosta tartunnan muodostumisesta työtä tehdessä sekä toisinaan pinnoitteen pakkasenkestävyydestä. Mikäli edellä mainitut seikat eivät muodostu ongelmaksi, pinnoite kuluu luonnollisesti ja hitaasti sääolosuhteiden aiheuttaman eroosion seurauksesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 40.)

## **2.9 Betonin muodonmuutokset ja halkeilu**

### **2.9.1 Yleistä**

Halkeamia rakenteisiin aiheuttavat mm. seuraavat tekijät:

- plastisen ja kovettumisvaiheen kutistumat

- kovettuneen betonin kuivumiskutistuma sekä kutistumaerot
- rakenteiden ulkoinen kuormittaminen
- tukien siirtyminen
- lämpötilan muutokset
- pakkasrapautuminen sekä betonin terästen korroosio.

Halkeamat aiheuttavat rakenteen säilyvyyden alenemista sekä rakenteellisia että esteettisiä haittoja. Isoimpien halkeamien kautta betonin sisään pääsee tunkeutumaan raudotteiden kuntoa alentavia aineita, kuten klorideja ja hiilidioksidia. Halkeamat vaurioittavat myös rakenteiden pintakäsittelyjä. Halkeamista aiheutuvien vaurioiden laatu ja suuruus riippuvat halkeamaleveydestä ja syvyydestä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 41.)

### 2.9.2 Julkisivuelementit

Halkeamia näihin rakenteisiin syntyy valmistuksen ja asennuksen aikana nostojen, siirtojen ja törmäysten seurauksena. Käytön aikana halkeamia syntyy törmäyksistä ja erilaisista pakkovoimista. Lisäksi pakkasrapautuminen ja raudotteiden korroosio aiheuttavat riittävän pitkälle edetessään näkyviä halkeamia. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 41.)

Elementtien kaareutuminen johtuu levyn paksuussuuntaisista muodonmuutosoista. Kaareutumisen suuruus riippuu elementin koosta ja kiinnitystavasta. Kuorielementtien kaareutuminen on tavallisesti sandwich-elementtejä suurempaa, koska jälkimmäisissä ansaat rajoittavat kaareutumista. Myös betonin erottuminen ja rakenteen kaksikerroksisuus (tiili- ja klinkkerilaattaapinta sekä pesubetonikerros) aiheuttavat pysyvää kaareutumista johtuen näiden pintojen ja taustabetonin kutistumaominaisuuksien eroista. Kaareutumista ja ulkokuoren liikkeitä voi seurata myös pakkasrapautumisesta ja kiinnikkeiden myötäämisestä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 42.)

### 2.9.3 Parvekkeet

Parvekerakenteisiin syntyy liikkeitä lämpötilan ja kosteuden vaihteluiden vaikutuksesta. Näitä liikkeitä voivat ottaa vastaan erilaiset siteet tai kannatuspalkit, jolloin niihin saattaa kohdistua hyvin suuriakin voimia jotka voivat vaurioittaa parvekelaattaa. Halkeamia syntyy lyhyisiinkin parvekkeisiin, mutta ongelma on merkittävästi suurempi pitkien rakenteiden kohdalla. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 43.)

## 2.10 Muut korjaustarvetta aiheuttavat tekijät

### 2.10.1 Asbesti

Asbesti on pitkäkuituinen mineraali ja hengitettynä vaarallinen. Asbestia on käytetty sen hyvän kestävyuden takia. Julkisivuissa sitä on käytetty erilaisissa pinnoitteissa ja levytuotteissa. Haittaa asbestista koituu pölyävien työvaiheiden aikana, joten mikäli asbestia sisältäviä rakennusosia ei korjauksen yhteydessä jouduta käsittelemään, ei asbestista aiheudu lisätoimenpiteitä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 44.)

### 2.10.2 Mikrobit

Homeongelmien yhteydessä tarkoitetaan yleisesti normaalista poikkeavaa bakteerien ja mikrosienien kasvua rakennusmateriaaleissa. Näiden tuottamat itiöt ja aineenvaihduntatuotteet aiheuttavat sisäilmaongelmia. Kyseenomaisten ongelmien pääsyy on puutteet kosteusteknisessä toimivuudessa. Pääasiallisesti homesieniä voi esiintyä tässä käsiteltävissä rakenteissa vain julkisivuelementtien lämmöneristeiden ulkopinnassa. Sisäilmaan ne voivat vaikuttaa kulkeutumalla ilmavirtojen mukana mm. epätiivien liitoskohtien kautta. Tämä on kuitenkin verrattain harvinainen ongelma. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 44.)

### 2.10.3 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteille, eli polysyklisille aromaattisille hiilivedyille, on ominaista voimakas haju ja niiden syöpää aiheuttavat vaikutukset. Toistuvasti altistuessa jopa todella pienetkin pitoisuudet voivat aiheuttaa oireita ja sairastumista. PAH-yhdisteitä löytyy pääasiallisesti vanhoista bitumi- ja kivihiilitervapohjaisista materiaaleista, joita on käytetty mm. sokkeleiden vesikattojen ja parvekkeiden vedeneristykseen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 44-45.)

### 2.10.4 PCB- ja lyijy-yhdisteet

PCB-yhdisteet (polyklooratut bifenyylit) rikastuvat ravintoketjussa ja aiheuttavat mahdollisesti syöpää. Lyijylle altistuminen synnyttää erilaisia hermostosairauksia. Julkisivuissa näytä yhdisteitä on käytetty saumausmassoissa, PCB-yhdisteitä massan perusseoksen pehmittämiseen työstettävyyden ja pitkäaikaiskestävyyden parantamiseksi, ja lyijy-yhdisteitä perusseoksen kovetteessa. PCB-yhdisteiden on huomattu myös levinneen saumausmassaa ympäröiviin rakenteisiin. PCB:tä on käytetty saumausmassoissa ilmeisesti vielä vuonna 1979 ja lyijyä 1989. Asbestin tapaan PCB- ja lyijy-yhdisteitä aiheutuu terveydellistä vaaraa vain pölyävissä työvaiheissa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 45.)

### 2.10.5 Aiemmat korjaukset

Rakenteet voivat vaurioitua tai vaurioiden eteneminen voi kiihtyä aiemmin tehtyjen korjausten seurauksena (mm. väärät materiaalivalinnat ja työtavat). Lisäksi tulee huomioida suoritettujen korjausten kestoiät. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 45.)



## 3 KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT

### 3.1 Yleistä

Kuntotutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa rakenteissa mahdollisesti olevia vaurioita ja toimivuuspuutteita. Näiden tilaa, etenemistä, syitä sekä vaikutuksia kuvaavia tietoja kerätään seuraavin tavoin:

- suunnitteluasiakirjojen ja käyttäjien sekä huoltohenkilöstön havaintojen avulla
- kohteen silmämääräisellä tarkastelulla
- kenttätutkimuksilla
- laboratoriotutkimuksilla. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 91.)

### 3.2 Raudoitteiden korroosion tutkimusmenetelmät

#### 3.2.1 Betonin karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen

Betonin karbonatisoitumissyvyyden mittaamisella pyritään selvittämään kuinka pitkälle betonin neutraloituminen on edennyt. Tämä on tärkeää, sillä neutraloitunut betoni menettää raudoitteita korroosiolta suojaavan ominaisuutensa.

Karbonatisoitunut betoni (pH noin 8) ja karbonatisoitumaton betoni (pH 13-14) voidaan erottaa pH-indikaattorilla ja näin saadaan myös selvitettyä karbonatisoitumissyvyys. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 91.)

Mittaus toteutetaan poralieriön pinnalta mahdollisimman nopeasti poraamisen jälkeen tai lieriön vasta lohkotulta pinnalta myöhemmin. Mittaaminen onnistuu myös betoniin tehdystä avauksesta tai betoniin työstetyn reiän reunoilta.

Pinta mistä mittaus suoritetaan, tulee puhdistaa huolellisesti minkä jälkeen pinta käsitellään indikaattoriliuoksella. Näytteiden tulee olla suhteellisen kuivia mittaushetkellä. pH-indikaattorina toimiva fenoliftaleiini värjää karbonatistuneen betonin punaiseksi. Karbonatisoitumaton betoni ei vaihda väriä. Kar-

bonatisoitumissyvyys mitataan normaalisti työntömitalla. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 92.)

Karbonatisoitumissyvyys voi vaihdella merkittävästi jopa yhdessä näytteessä, mutta yleensä tulisi arvioida keskimääräinen syvyys. Myös ulkokuoren takapinnan karbonatisoitumissyvyys tulee selvittää näytteistä, jotka on porattu ulkokuoren läpi. Halkeamat ja tiivistyspuutteet voivat aiheuttaa normaalia suurempia karbonatisoitumissyvyyskertoja. Nämä tulee kirjata ylös, mutta jättää huomioimatta selvitetäessä keskimääräistä syvyyttä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 93.)

On tärkeää, että näytteitä otetaan riittävästi, sillä karbonatisoitumissyvyudet voivat vaihdella merkittävästi yhdenkin elementin alueella sekä samanlaisten elementtien kesken. Tämän lisäksi eri rakennetyyppien kesken on eroja. Jotta saataisiin mahdollisimman hyvä käsitys rakenteen karbonatisoitumisesta, tulee mittauskohdat valita huolellisesti. Mittaukset tulisi suorittaa paikoista mihin kohdistuu keskimääräinen saderasitus. Ilman suunnalla tai mittauskohdan korkeudella ei ole suurta merkitystä karbonatisoitumisen etenemiseen. Elementtien tuotannossa on kuitenkin voinut olla ajallisia laadunvaihteluita, joten näytteitä tulisi ottaa eri korkeuksilta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 93-94.)

### 3.2.2 Raudoitteiden peitepaksuuden mittaus

Raudoitteiden peitepaksuus voidaan selvittää, jotta saataisiin käsitys siitä miten suuri osa teräksistä on vaaravyöhykkeellä karbonatisoitumisen ja kloridien suhteen. Tulosten perusteella voidaan arvioida korroosiovaurioiden määrää tulevaisuudessa. Peitepaksuus saadaan selvitettyä peitepaksuusmittarilla, jolloin betonia ei tarvitse rikkoa. Laitteen toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, eli sillä voidaan selvittää vain tavallisten (magneettisten) raudoitteiden peitepaksuudet. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 94.)

Mittaus suoritetaan satunnaisotantana tutkittavalta pinnalta. Kaikki mittaustulokset kirjataan ylös, jolloin saadaan selville kuinka suuri osuus teräksistä on korroosio- ja/tai kloridivaarassa. Peitepaksuuksia mitattaessa tulee valita mahdollisimman edustavia osia elementeistä. Lisäksi peitepaksuushavaintoja tulee olla riittävästi kutakin rakenne- ja raudoitetyypin kohti. Suositeltava määrä on 100-200 kpl vähintään kuudesta tai useammasta elementistä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 95.)

Peitepaksuus selvitetään erikseen jokaisesta peitepaksuusjakaumaltaan oletettavasti erilaisesta elementti- ja rakennetyypistä sekä pintatyyppistä. Tämän lisäksi tulee selvittää erikseen eri raudoitetyypit, joilla oletettavasti on eri peitepaksuudet. Peitepaksuus voi vaihdella myös yhden rakennusosan eri pinnoilla, kuten parvekekaiteen sisä- ja ulkopinnalla. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 96.)

### 3.2.3 Betonin kloridipitoisuuden määrittäminen

Betonin kloridipitoisuus on joissain tapauksissa tärkeää selvittää, sillä jo hyvin pienet kloridipitoisuudet voivat saada aikaan raudoitteiden korroosion jopa alkalisessa betonissa. Kriittisenä kloridipitoisuutena pidetään 0,03-0,07 paino-% happoliukoista kloridipitoisuutta betonin painosta. Todellisuudessa tähän arvoon vaikuttaa mm. betonin tiiviys, alkaalisuus ja käytetty sementtimäärä. Klorideja vapautuu betoniin myös karbonatisoitumisreaktion seurauksena. Mittaus suoritetaan rakenteesta porattavasta jauhenäytteestä. Lähellä meren rantaa tulisi selvittää onko kloridi peräisin merestä, jolloin klorideja on enemmän rakenteen pinnassa, vai onko kloridi joutunut rakenteeseen jo valmistusvaiheessa, jolloin kloridi pitoisuus on vakio riippumatta syvyydestä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 96.)

Näytteen kloridipitoisuus määritetään titraamalla. Näytteen maksimiraekoon tulee olla alle 0,1 mm ja näytteen tulee sisältää sementtiä vähintään 2 grammaa. Ei ole mitään syytä, miksi näytettä ei tulisi ottaa samalla enemmän, jol-

loin voidaan tarvittaessa suorittaa samasta näytteestä uusintamittaus. On ensiarvoisen tärkeää, että näytteenoton yhteydessä saadaan kerättyä talteen kaikki porareistä saatava jauhe. Mikäli tiedetään, että betoni sisältää suuria runkoainerakeita, tulee näytettä kerätä useammasta vierekkäisestä reiästä. Muutoin on vaarana, että näyte koostuu suurimmaksi osaksi vain runkoainesjauheesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 97-98.)

### **3.3 Betonin rapautumisen tutkiminen**

#### **3.3.1 Yleistä**

Ulkoapäin katsottaessa julkisivu voi näyttää hyvinkin moitteettomalta, mutta osa elementeistä voi olla kuitenkin erittäin pitkälle rapautuneita. Kuntotutkimuksen tavoitteena on löytää tällaiset elementit ja saada niiden osuus selville, jotta voidaan määrittää rakenteelle tilanteeseen sopivin korjaustapa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 98.)

#### **3.3.2 Kenttätutkimukset**

##### **3.3.2.1 Vasarointi**

Vasarointi on helppo ja nopea tutkimusmenetelmä, jonka avulla voidaan saada selville onko betoni rapautunut. Vasarointiin käytetään noin yhden kilon painoista moskaa. Rapautunutta betonia vasaroitaessa iskuääni on tavallista matalampi ja vasara ei kimpoa rakenteesta yhtä voimakkaasti kuin ehjää betonia vasaroitaessa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 98.)

##### **3.3.2.2 Rakenteiden silmämääräinen tarkastelu**

Rakenteen silmämääräinen tarkistus on hyvä suorittaa samalla vasaroinnin yhteydessä. Rakenteista etsitään pakkasrapautumisen merkkejä, kuten kaa-

reutuneita elementtejä, halkeamia, kokoonpuristuneita saumoja ja kalkkihärmevalumia. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 98.)

### 3.3.3 Laboratoriotutkimukset

#### 3.3.3.1 Betonin mikrorakennetutkimus

Betonin mikrorakennetutkimus (hietutkimus) on betonin rapautumisen tutkimisen perusmenetelmä. Tutkimuksessa rapautumistilanne saadaan selville näytteestä mikroskoopilla. Tutkimus on syytä tehdä, mikäli betonin rapautuminen on kriittinen rakenteiden korjauksen kannalta eikä rapautumista voida helposti muilla menetelmillä havaita. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 100.)

Mikrorakennetutkimus tehdään laboratoriossa yleensä ohut- tai pintahieestä. Tutkimuksella saadaan hyvin tarkka käsitys betonin senhetkisestä laadusta ja kunnosta. Tutkimuksessa on syytä selvittää:

- betonin pakkasenkestävyys (lisähuokokset)
- säröt ja halkeamat sekä niiden suuntautuneisuus (voidaan päätellä halkeilun syy ja betonin rapautumisaste)
- huokosten täyteisyys (vain ohuthietutkimuksella)
- haitalliset reaktiot (ettringiitti- ja alkaalirunkoainereaktiot, vain ohuthietutkimuksella)

Tarvittaessa voidaan lisäksi selvittää:

- betonin yleinen laatu
- karbonatisoitumissyvyys
- pintakäsittelyjen ja -tarvikkeiden tartunta
- maalissa mahdollisesti olevat kuidut (asbesti). (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 101.)

Tutkimusta varten rakenteesta otetaan näyteliieriö timanttikoralla. Ohuthienäyte saadaan hiomalla näyte n. 25 – 30 µm:n paksuiseksi. Pintahienäyte hiotaan

vain yhdeltä suunnalta eikä silloin mikroskooppitutkimusta voida suorittaa näytteen läpi. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 102.)

Mikrorakennetutkimus on yleensä syytä suorittaa:

- mikäli muilla tutkimusmenetelmillä ei ole saatu rapautumiseen viittaavaa tietoa (näytteet otetaan kohdista mistä rapautuminen suurimmalla todennäköisyydellä alkaa)
- havaittaessa mahdollisia merkkejä rapautumasta (varmistetaan siitä onko rapautumista ja mistä johtuu)
- havaittaessa selvää rapautumista voidaan rapautuneen kohdan vierestä, ehjältä vaikuttavasta kohdasta ottaa näytteitä (arvioitaessa rapautuman paikallisuudesta)
- havaittaessa laajaa ja selkeää rapautumista otetaan näytteet vähemmän rasitetusta kohdasta (saadaan selville rapautuman laajuus). (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 102-103.)

### 3.3.3.2 Vetokoe

Vetokokeella voidaan arvioida betonin rapautumistilannetta. Koska rapautuminen aiheuttaa mikrohalkeamia, alenee betonin vetolujuus merkittävästi. Vetolujuustulosten perusteella voidaan tehdä arvioita betonin laadusta ja korjattavuudesta esim. paikkauslaastien tartunnasta ja uusien pintatarvikkeiden kiinnitysvarmuudesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 103.)

Tutkittavasta rakenteesta porataan näytelieriö, joka koestetaan laboratoriossa. Tutkittaessa rakenteen läpi porattua näytettä saadaan selvitettyä vetolujuus koko rakenteen paksuudelta. Näytelieriön halkaisija on n. 50 tai 75 mm, kuitenkin mahdollisimman suuri huomioiden betonin runkoaine. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 103-104.)

Johtopäätöksiä ei voida tehdä vain yhden vetokokeen perusteella vaan

koestuksia tulee olla vähintään muutamia. Betonin murtotavasta voidaan tehdä päätelmiä rapautumistilanteesta. Mikäli betoni murtuu pääsääntöisesti runkoainerakeiden pintoja myötäillen, on betoni suurella todennäköisyydellä rapautunutta. Suora ja runkoainerakeita rikkova murto on taas tyypillistä rapautumattomalle betonille. Alhainen vetolujuus ei automaattisesti tarkoita sitä, että betoni olisi rapautunutta. Vetolujuuden arvoon vaikuttaa myös käytetyn runkoaineen laatu, betonin alhainen lujuus ja pakkovoimista sekä betonissa olevista kuormituksista aiheutuneet halkeamat. Tästä syystä olisi hyvä varmistaa rapautuminen esim. hietutkimuksella. Vetokoe soveltuukin parhaiten täydentämään muita tutkimusmenetelmiä. Parhaiten menetelmä soveltuu rapautuman laajuuden tutkimiseen, jolloin näytemäärät voivat olla suuria ja vetokoe tulee edullisemmaksi kuin esim. hietutkimus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 104-105.)

### 3.3.3.3 Betonin suojahuokossuhteen määrittäminen

Betonin suojahuokossuhteen määrittämisellä saadaan tietoa betonin pakkasenkestävyydestä. Suojahuokossuhde kertoo sen, kuinka suuri osa betonin kokonaishuokostilavuudesta säilyy ilmatäytteisenä normaalipaineisessa vesisäilytyksessä. Rajana pakkasenkestävyydelle on pidetty 0,20 suojahuokossuhdetta. Suojahuokosmittaus suoritetaan laboratorioissa ja käytettävissä on useampia eri menetelmiä. Menetelmät perustuvat vedellä kyllästettyjen näytteiden punnitsemiseen. Kuntotutkimuksissa usein käytetään alipainemenetelmää, jossa huokokset täytetään alipaineella. Menetelmä on edullinen ja sopii erinomaisesti pienille näytteille. Standardin mukainen testaus, missä suojahuokokset täytetään korkean paineen avulla, ei sovellu kovin hyvin pienille näytteille. Lisäksi testaus voidaan suorittaa ns. vedenimukokeella, jolla saadaan selvitettyä myös pakkasrapautumiseen tarvittavan vesikosketuksen aika. Eri menetelmillä saadaan hiukan toisistaan poikkeavia tuloksia, ja mahdollinen tulosten epätarkkuus tulee tarvittaessa ilmoittaa raporteissa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 104.)

Suojahuokostutkimuksen tuloksista ei kuitenkaan pystytä selvittämään sitä onko suojahuokosia tarpeeksi tiheässä tai ovatko suuret huokokset vain esim. puutteellisesta tiivistyksestä johtuvia huokoisia. Tutkimuksen perusteella ei voida tehdä varmoja johtopäätöksiä betonin pakkasenkestävyydestä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, mikäli betoni on selkeästi lisähuokoistamatonta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 106.)

### **3.4 Muut tutkimusmenetelmät**

#### **3.4.1 Kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen tutkiminen**

Kuntotutkimuksen keskeisimpiä osia ovat rakenteiden kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen kunnan selvittäminen. Kenttätutkimuksien yhteydessä voidaan kiinnikkeiden kuntoa selvittää mm.:

- näytteiden ottoon tarkoitetuista porareijistä
- erillisten rakenneavausten kautta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 106.)

Näyteporausten yhteydessä voidaan yleensä varmistaa ruostumattomien ansaiden olemassaolo ja ansaiden tyyppi. Näytemäärän ollessa suuri, osuu pora yleensä ainakin yhteen ansaaseen. Ansaan materiaali voidaan tarkistaa porareian kautta silmämääräisesti ja magneetilla, koska ansaiden materiaalina käytetty austeniittinen ruostumaton teräs ei ole magneettista. Osa käytetystä ruostumattomasta teräksestä saattaa olla kuitenkin heikosti magneettista, mutta magneettisuus on selkeästi heikompaa kuin ”normaalilla” teräksellä. Kiinnikkeiden tyyppin selvittäminen ja silmämääräinen arvio niiden kunnosta voidaan tehdä rakenneavauksen kautta. Avauksia tulee tehdä harkiten ja varoen sillä kiinnitysten vaurioituminen voi aiheuttaa turvallisuusriskin. Avauksia on kuitenkin tehtävä riittävästi ja eritoten paikkoihin, missä kiinnityksien vauriot ovat todennäköisesti pisimmälle edenneet. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 106.)



Jos vaurioille alttiimmissa paikoissa olevat kiinnikkeet järjestään osoittautuvat avauksissa ehjiksi, jo muutama (n. 3-5) avasta riittää varmistamaan kiinnikkeiden hyvän kunnon. Koskaan ei kuitenkaan voi luottaa vain yhteen avaukseen. Jos taas vain osassa kiinnikkeistä on selviä vaurioita, tulee avausten määrää lisätä jotta saadaan tietoa vaurioiden yleisyydestä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 107.)

### 3.4.2 Kosteusteknisten puutteiden tutkiminen

Kosteustekniset puutteet ja virheet vaikuttavat vaurioiden syntymiseen ja etenemiseen. Siksi onkin tärkeää aina kuntotutkimuksen yhteydessä tarkastella rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta. Rakenteiden jäljellä olevaa käyttöikää voidaan lisätä sekä vaikuttaa korjausten kestävyYTEEN ja käyttöikään parantamalla rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 75.)

Jos rakenteissa on havaittavissa merkittäviä kosteusteknisiä ongelmia, on yleensä syytä teettää erillinen kosteustekninen kuntotutkimus ja siihen liittyvä analyysi. Tämän prosessin etenee tyypillisesti seuraavasti:

- 1) arvioidaan rasitusolot
- 2) arvioidaan rakenteen ja siinä käytettyjen materiaalien kosteustekniset ominaisuudet
- 3) tarkastellaan kosteuden siirtymistä, sitoutumista ja kertymistä sekä rakenteen kuivumismahdollisuuksia
- 4) arvioidaan kertymien vaikutuksia
- 5) tarkastellaan rakenteen liitoksia ja muita yksityiskohtia.

Yleisten rasitustietojen sekä suunnitteluasiakirjoista saatavien tietojen perusteella pyritään saamaan käsitys rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta. Huomiota on kiinnitettävä erityisesti kosteusteknisiin toimivuuspuutteisiin ja toiminnan kannalta kriittisiin tekijöihin. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 75.)

Yleensä rasisuoloja arvioidaan vain silmämääräisesti eikä esim. kosteusmittauksia tarvitse tehdä lainkaan. Silmämääräisesti voidaan kerätä tietoja kosteusrasituksista, kosteuspitoisuuksista, rakenteen ja siihen liittyvien yksityiskohtien kosteusteknisistä ominaisuuksista sekä kosteuden vaikutuksista. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 75.)

Rakenteissa olevien saumojen kuntoa ei tarvitse tutkia, mikäli ne kuitenkin uusitaan seuraavan korjaustoimenpiteen yhteydessä. Julkisivusaumojen kunnan tarkempi tutkiminen on kuitenkin välttämätöntä kunnossapidon suunnitteluun suoritettavan kuntotutkimuksen yhteydessä. Sama koskee myös kohteita, joissa on havaittavissa odottamattomia saumavaurioita tai jotain muuta, eritoten saumoihin liittyvää ongelmaa. Saumojen heikkenemisen syyt tulisi kuitenkin selvittää, sillä korjaussuunnittelun lähtötietoihin tarvitaan tietoja uuden saumarakenteen kestävyteen. Yleensä vaurioitumisen syy on mm. kovettu-  
nut saumausmassa, liian kapea saumausleveys ja epäpuhtaat tartuntapinnat. Saumojen tarkastuksen yhteydessä tulee tarkastaa myös saumojen tuulettuvuus ja elementtien eristetilän vedenpoistojärjestelmän toimivuus. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 76.)

Julkisivujen ja parvekkeiden liitosten (eri pellitysten ja juotossaumojen) toimivuutta ja kuntoa voidaan arvioida tutkimalla niissä näkyviä kosteus- ja likajälkiä, maalin hilseilyä sekä pellitysten kallistuksia, ulottumia ja kiinnityksiä. Elementtiparvekkeiden jälkivalusaumojen kunto ja kosteustekninen toimivuus on syytä selvittää, sillä niiden betonin tiivistys on monesti puutteellista, jolloin vettä pääsee valumaan niiden kautta suoraan rakenteisiin. Jälkivalujen kunto voi vaikuttaa myös rakenteen kantavuuteen ja saumaraudoitteiden korrosioherkkyyteen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 76-77.)

### 3.4.3 Pintatarvikkeiden tutkiminen

Pintatarvikkeiden eli klinkkeri-, tiili- ja luonnonkivilaattojen vaurioituminen ilmenee yleensä laatan irtoamisena. Kartoittaessa laattojen irtoamisen laajuutta

voidaan arvioita tehdä silmämääräisesti jo pudonneiden pintatarvikkeiden perusteella. Lisäksi alustasta irrallaan olevat pintatarvikkeet voidaan erottaa kiinni olevista koputtelemalla niitä vasaralla. Koputtelun otannan on oltava riittävän suuri ja kattava-alainen. Kartoituksessa määritellään irronneiden pintatarvikkeiden määrä ja tyypillisimmät irtoamiskohdat. Julkisivujen säärasiteuimmissa yläosissa on tyypillisesti eniten pintatarvikevaurioita. Tarkastelua tehtäessä tulee arvioida myös pintatarvikkeen irtoamisen syitä (mm. terästen korroosio, betonin pakkasrapautuminen, pakkovoimat, elementissä oleva paikallinen tuotantovirhe ym.). Uusien julkisivujen yhteydessä kyseessä on yleensä työvirhe tai rakenteeseen sopimaton laatta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 77.)

Kiinni olevien laattojen tartunnan lujuutta voidaan tutkia vetokokeella tai mikrorakennetutkimuksella. Näiden tutkimusten avulla voidaan saada selville onko olemassa vaara, että myös kiinni olevat laatat ovat irtoamassa. Eristetilan tuulettavuus vaikuttaa merkittävästi klinkkerilaattapintaisten sandwich-elementtien rasisustasoon ja kestävyYTEEN. Piirustuksista saadaan alustavaa tietoa tuuletuksen olemassaolosta ja toimivuudesta. Myös karbonatisoitumismittauksista voidaan saada jonkinlaista käsitystä rakenteen tuulettavuudesta. Jos ulkokuoren taustapinnassa ei ole merkkejä karbonatisoitumisesta, ei eristetila ole tuulettunut. Tuuletuskanaviston toimivuutta voidaan tutkia myös rakenneavausten kautta ja ns. merkkiainekokeella. Tiililaattapintojen yhteydessä tulee tarkastella tiilien rapautumista erityisesti kohdissa, joissa niihin kohdistuu erityisen suuri kosteusrasitus. Jatkuvasti esiintyvä suolahärme on merkki voimakkaasta kosteusrasituksesta. Vanhoissa kohteissa kalkkihärme voi kieliä betonin pakkasrapautumisesta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 77.)

#### 3.4.4 Pintakäsittelyn tutkiminen

Pintakäsittelyn kunnon tarkastaminen on pääsääntöisesti vain silmämääräisesti tehtävää tutkimusta. Pintakäsittelyn vaurioituminen ilmenee halkeiluna ja hilseilynä. Maalipinnoitteen vaurioituminen voi olla merkki muista rakenteesta

olevista vaurioista. Korkea paikallinen kosteusrasitus voi vaurioittaa maalipintaa, ja tällaisia kohtia on syytä koputella moskalla pakkasrapautumisen varalta. On kuitenkin huomioitava, ettei pintavaurio automaattisesti tarkoita sitä, että rakenteessa olisi myös muita vaurioita. Pellitysten toimivuutta ja rakenteiden kosteusrasitustasoja voidaan arvioida maalipinnoitteessa olevien peseytynneiden kohtien, likavanojen ja vastaavien merkkien perusteella.

(Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 77.)

Vanhalle pinnoitteelle voidaan tehdä tutkimus, minkä avulla voidaan arvioida käytetyn pinnoitteen tyyppiä. Kyseessä on hyvin edullinen tutkimus, jonka tuloksista voidaan päätellä pinnoitteen päällemaalattavuutta ja parasta poistotapaa sekä sitä, sisältääkö maali asbestia. Tulokset auttavat myös pinnoitteen kosteusteknisten vaikutusten määrittämisessä. Määriteltäessä pinnoitteen tyyppiä turvaudutaan yleensä seuraaviin menetelmiin:

- maalikalvon ulkonäön tarkastelu (yleisimpien maalityyppien tunnistus onnistuu suurimmalta osalta maalausalan ammattilaisista)
- maalin kaupanimen selvittäminen (kohteen asiakirjoista)
- erilaisten testien tekeminen pinnoitenäytteelle. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 109.)

### 3.4.5 Halkeilun ja muodonmuutosten tutkiminen

Alkuvaiheessa halkeamien ja muodonmuutosten arviointi suoritetaan vain silmä määräisesti. Julkisivujen hammastukset ja käyritymät ovat parhaiten havaittavissa auringon paistaessa lähestulkoon julkisivun suuntaisesti.

Ymmärtääkseen halkeamien merkityksen rakenteelle tulee kuntotutkijan tuntee rakenteen toimintaa. Halkeamien kehitystä voidaan seurata kipsisilloilla, mallilevyä käyttäen tai työntömitan avulla halkeaman molemmilla puolilla olevien mittauspisteiden avulla. Kaikki muodonmuutoksia aiheuttavat olosuhdevaihtelut voidaan ottaa huomioon, kun seuranta-aika valitaan riittävän pitkäksi. Halkeaman kohdalta porattavasta näyteliieriöstä teetettävällä hietutkimuksella voidaan selvittää halkeaman syvyyttä. Haluttaessa selvittää onko halkeamalla

vaikutusta betoniterästen korroosion, voidaan teräksiä piikata esiin halkeaman kohdalta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 110.)

#### 3.4.6 Aiempien korjausten tutkiminen

Aiempien korjausten toimivuutta, vaikutusta rakenteiden rasitustasoon ja kuormitukseen voidaan arvioida silmämääräisesti. Tarvittaessa voidaan suorittaa myös tarkempia tarkasteluja. Aiempia korjaussuunnitelmia ja kuntotutkimuksia tulee käyttää mahdollisuuksien mukaan tiedonkeruussa. Monessa kohteessa tosin korjauksia on suoritettu ilman ennakkoselvityksiä ja korjaussuunnittelua. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 110.)

**Kevyissä pinnoituskorjauksissa** voidaan selvittää käytetyn maalin tyyppi ja sen kuntoa voidaan arvioida edellä kuvailluilla tavoilla. Tiedon pohjalta voidaan arvioida pinnoitteen suojavaikutusta, päällemaalattavuutta sekä mahdollisuuksia maalin poistoon. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 110.)

**Laastipaikkauksia** tutkittaessa on tavoitteena pystyä arvioimaan raudoitteiden korroosion senhetkinen taso ja paikkauslaastin kiinnipysyminen. Raudoitteiden korroosion tilanteesta saadaan tietoa päällepäin näkyvistä vaurioista avaamalla rakennetta paikatuista kohdista ja paikattujen alueiden ulkopuolisten rakenteiden korroosion etenemistä tutkimalla. Tutkimalla paikkauslaastin karbonatisoitumista saadaan selville laastin teräksiä suojaava vaikutus. Vetokokeilla ja koputtelemalla paikkauslaastia saadaan tietoa laastin kiinnittymisestä korjattuun rakenteeseen. Paikkauksen reuna-alueet tulisi tutkia erityisen tarkasti. Tarvittaessa voidaan laastin pakkasenkestävyyttä tai oletettavaa pakkasrapautumaa tutkia suojuhuokos- ja vetokokeilla tai mikrorakennetutkimuksen avulla. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 111.)

**Peittäviä korjauksia** tutkittaessa tulee selvittää ko. korjauksen rakennetta suojaavat ja vaurioitumista hidastavat vaikutukset. Yleisesti ottaen tutkimus suoritetaan silmämääräisesti arvioiden peittävän korjauksen kykyä suojata ra-

kennetta (esim. toimiiko pellitykset) ja tuulettumismahdollisuutta, mikäli se on suojaavalle rakenteelle välttämätöntä. Toisinaan suojaavan rakenteen kiinnityminen suojattavaan rakenteeseen on aiheellista tutkia. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 111.)

### 3.4.7 Ympäristölle ja terveydelle vaarallisten aineiden ja yhdisteiden tutkiminen

#### 3.4.7.1 Maalin asbestipitoisuuden määrittäminen

Maalin asbestipitoisuuden selvitys tulee tehdä aina, mikäli valittu korjaustapa edellyttää vanhan maalipinnan poiston tai esim. painepesu aiheuttaa maalipinnan irtoamista. Jos maali sisältää asbestia, tulee maalinpoistotyö tehdä asbestityönä. Mikäli pinnoitetyyppi kyetään tunnistamaan, voidaan sen pohjalta arvioida onko pinnoitteessa asbestia. Tämä menetelmä ei kuitenkaan ole kovin luotettava, joten näin tulisi pelkästään arvioida, onko mahdollista että pinnoite sisältää asbestia. Koskaan ei vain pinnoitetyyppejä tunnistamalla voida varmuudella sanoa, että pinnoite ei sisällä asbestia. Monesti asbestikuidut voidaan havaita ohuthietutkimuksessa. Vain suorittamalla laboratoriotutkimuksia voidaan saada täysi varmuus siitä, onko pinnoitteessa asbesti vai ei. Tutkimus suoritetaan elektronimikroskoopilla, ja näyte sitä varten voidaan irrottaa esim. puukolla. Käytettäessä valomikroskooppia tutkimukseen, joitakin asbestityyppejä ei voida havaita. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 112.)

#### 3.4.7.2 Mikrobiologiset tutkimukset

Mikrobinäyte otetaan tavallisesti sandwich-elementin ulkokuoreen poratusta reiästä. Näyte otetaan tarkoituksenmukaisilla pihdeillä tai ns. tarttujilla. Näyte saadaan otettua myös porattaessa näytelieriöitä seinäelementistä. Huomioitava on kuitenkin, että tällöin näyte otetaan kohdasta, joka ei ole päässyt kasumaan porauksen yhteydessä. Näytettä ei tulisi myöskään ottaa sauman

kohdalta, sillä vuotavasta saumasta eristetilaan on saattanut päästä kosteutta ja ulkoilman homeitiöitä. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 112-113.)

Instrumentti, jolla näyte on otettu, tulee desinfioida jokaisen erillisen näytteenoton jälkeen, jotta siinä olevat mikrobit eivät pääse tartuttamaan toisia näytteitä. Tässä yhteydessä tulee pitää huoli, ettei desinfiointiaine pääse kosketuksiin itse näytteen kanssa. Välittömästi näytteenoton jälkeen näyte tulee säilöä tiiviiseen muovipussiin. Näyte ei saisi kastua, joten - mikäli mahdollista - näytteitä ei tulisi ottaa kovin sateisella kelillä tai näyte ja näytteenottovälineet tulee suojata huolellisesti sateelta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 113.)

Säilytyspusseihin, julkisivupiirroksiin ja näytelomakkeeseen tulee merkata tarpeelliset tiedot näytteistä. Näytteiden säilytys tulee tapahtua kuivassa ja mahdollisimman tasaisessa lämpötilassa. Pusseihin voidaan laittaa jotain kosteutta poistavaa ainetta (silikageeli), mutta ensin tulee kuitenkin varmistaa, ettei siitä ole vaaraa itse näytteelle. Näytteiden tutkimus tulee suorittaa laboratoriossa mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Tutkimus kestää tavanomaisesti noin 2-3 viikkoa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 113-114.)

Näytteiden tutkinnassa voidaan käyttää useita eri menetelmiä:

- valomikroskoopilla tutkittaessa voidaan tehdä arvio näytteessä olevien kasvustojen suuruusluokasta ja tunnistaa ainakin osa kasvustoista
- näytteestä irrotettua kuitua voidaan tutkia elektronimikroskoopilla
- näytettä viljeltäessä suoraan elatusmaljassa saadaan tietoa siinä olevien kasvustojen suuruusluokasta sekä hallitsevista suvuista
- näytteestä voidaan tehdä laimennussarjoja joita sitten viljellään elatusmaljoissa (suuritoisempi kuin näytteen suora viljely, mutta samalla myös tarkin menetelmä).

Näytteen sisältämien mikrobien määrä ilmoitetaan yksiköllä cfu/g (cfu = colony forming unit eli pesäkkeen muodostava hiukkanen). Ihmiselle haitallinen määrä riippuu pitkälti mikrobilajista. Joillakin lajeilla haitallisena määränä pidetään,

mikäli näyte sisältää esim. 100 000 cfu/g ja toisilla jopa 10 cfu/g voi olla haitallista. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 113-114.)

#### 3.4.7.3 Saumausmassojen PCB- ja lyijypitoisuuden tutkiminen

Mikäli korjaustöitä tehdään rakenteiden lähellä, joissa mahdollisesti on käytetty PCB:tä tai lyijyä sisältäviä saumausmassoja, tulee näiden PCB- ja lyijypitoisuus tutkia. Yleisesti ottaen jokaisesta tutkittavasta rakennuksesta jokaista saumausmassatyypistä kohden otetaan kolme eri näytettä. Jos kohteessa on niin alkuperäistä kuin uusittuakin saumaa, näyte otetaan aina alkuperäisestä saumasta. Mikäli kohde on pieni (julkisivusaumaa korkeintaan 200 jm), niin yksi näyte riittää. Näytteidenotto voidaan suorittaa esim. mattopuukolla, mutta näytteenottimen terä tulee vaihtaa näytteidenoton välillä, jotta vältetään ainesien sekoittumiselta. Riittävän suurena näytteenä voidaan pitää n. 10 cm:n pituista kappaletta. Näytteet eivät saa olla kosketuksissa toisiinsa ja ne olisi hyvä kääriä yksitellen esim. alumiinifolioon. Näytteiden tunnukset tulee merkata säilytysastiaan ja näytelomakkeeseen. Näytelomakkeeseen merkataan myös ympäröivät rakennusosat materiaaleineen sekä kohta josta näyte on otettu. Näyte analysoidaan tavallisesti uuttamalla PCB:tä liuotinseokseen, joka sitten tutkitaan kaasukromatografilla. Näytteen lyijypitoisuus saadaan selville atomiabsorbtiospektrometrisesti. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 114-115.)

#### 3.4.8 Liittyvät tutkimukset ja selvitykset

Kenttätutkimuksia tehtäessä on syytä kiinnittää huomiota joihinkin julkisivuun liittyvien rakennusosien kuntoon ja toimivuuteen, vaikka nämä eivät olisikaan varsinaisesti kuntotutkimuksen kohteina. Näillä rakennusosilla voi kuitenkin olla merkittävä vaikutus rakenteiden rasiustasoon ja kestävyteen sekä korjauksen valintaan. Näitä tarkasteltavia rakenteita ovat mm.:

- räystäät ja niihin liittyvät rakenteet sekä kattovedenpoistojen kunto ja toimivuus



- lämmöneristeen paksuus ja kunto (näytteenottoreiästä)
- julkisivun ja parvekkeiden liittymien aiheuttamat rajoitukset tai vaatimukset korjaustapaan
- ikkunaliittymät. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 115.)

### 3.4.9 Näytteenotto

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimuksen yhteydessä suoritettaviin laboratoriotutkimuksiin tarvitaan näytteitä tutkittavista rakenteista. Käytettävä tutkimusmenetelmä määrittelee näytteiden tyyppin ja sen, kuinka paljon niitä tarvitaan. Näytteitä otettaessa voidaan havainnoida esim. betonin lujuutta ja rakenteiden ominaisuuksia yleisesti, joten olisi suositeltavaa että näytteenoton suorittaa ammattitaitoinen kuntotutkija. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 115-116.)

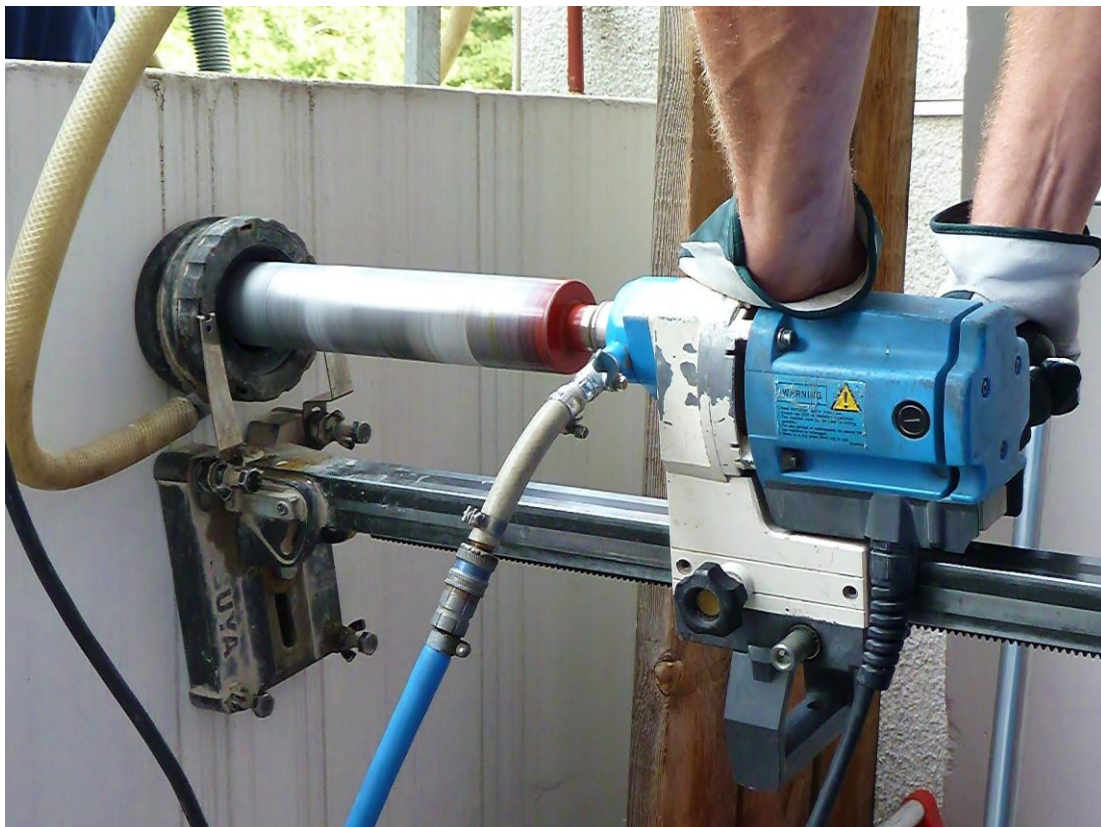
Yleisesti käytettyjä näytteenottotapoja ovat:

- betonin lieriöporaus timanttiterällä (karbonatisoitumissyvyys, hietutkimus, vetokoe, suojahuokossuhteen selvitys)
- betonikappaleen irrotus piikkaamalla tai laikalla leikkaamalla (harvinaista)
- betonista poraamalla saatava näytejauhe (kloridipitoisuuden selvitys)
- maalinäytteen irrotus esim. puukolla (maalin tunnistus)
- näytteenotto saumasta esim. puukolla (saumausmassan PCB- ja lyijypitoisuuksien selvitys)
- eristetilasta otettava mikrobinäyte. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 116.)

Lieriöporaus on yleisesti käytetty näytteenottomenetelmä, koska sen avulla katetaan useimmat näytetarpeet. Se soveltuu myös tarpeen vaatiessa rakenteiden avaukseen. Lieriönäytteestä on mahdollista valmistaa kloridianalyysiä varten tarvittava näytejauhe - tosin näyte on helpompi porata iskuporakoneella suoraan rakenteesta. Lieriöporaus on nopea näytteenottotapa, ja reiät on helppo paikata esim. muovitulpilla tai laastilla. Lieriönäytteet tulee merkata

huolellisesti, jotta voidaan olla varmoja mistä ne on otettu. Näytteisiin on hyvä merkattava myös sisä- ja ulkopinta ja/tai ala- ja yläpinta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 116.)

Kuviossa 2 on esitetty näytelieriön poraamista tutkittavasta rakenteesta.



KUVIO 2. Näytelieriön poraaminen timanttioralla

Näytteitä otettaessa tulee huomioida, mitä näytteestä on tarkoitus tutkia, ja kohdentaa näytteenotto tämän mukaan. Otettaessa näytettä tulee huomioida, ettei näytteenotto aiheuta vaaraa rakenteen kantavuudelle ja kiinnityksille. Näytteenottokohdat tulee paikata niin, ettei rakenteiden esteettisyys kärsi tai rasitustaso kasva. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 117.)

### 3.4.10 Harvemmin käytetyt tutkimusmenetelmät

Edellä kuvailtujen kuntotutkimusmenetelmien lisäksi on olemassa muitakin menetelmiä, joista moni ei kuitenkaan ole soveltuva minkään yksittäisen vaurioitumistavan tutkimukseen. Useimmissa menetelmissä on myös joitain rajoituksia, joita ei aina osata tiedostaa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 118.)

#### 3.4.10.1 Betonin puristuslujuuden määrittäminen

Betonin laatua mitataan yleisesti puristuslujuuskokeen avulla. Puristuslujuuden mittauksella ei kuitenkaan voida määrittää rakenteessa olevien vaurioiden olemassaoloa tai etenemistä. Siksi kuntotutkimuksen suorittamisen yhteydessä betonin puristuslujuuden määrittäminen ei ole tarpeen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 118.)

#### 3.4.10.2 Kosteusmittaus

Betonin kosteusrasituksella on merkittävä rooli erilaisten vaurioiden synnyssä ja etenemisessä. Kuntotutkijalla tulee olla selkeä käsitys siitä, missä mielessä kosteusmittauksilla saatuja arvoja aiotaan hyödyntää. Mielessä tulee myös pitää se tosiasia, että kosteusrasitukselle alttiina olevan betonin suhteellinen kosteus vaihtelee merkittävästi eri vuodenaikoina ja vallitsevan sään mukaan. Normaaliin kuntotutkimukseen ei yleensä liity kosteusmittausten suoritusta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 118.)

#### 3.4.10.3 Tähtäminen

Tähtäyksen (endoskopoinnin) tarkoituksena on tarkastella rakenteiden sisäosia esim. poranreiän kautta siten, ettei rakennetta tarvitse kovinkaan paljon avata. Menetelmän käytettävyyttä vähentää se, että tutkittavan rakenteen ympärillä tulee olla tyhjää tilaa. Täten mm. villan sisällä olevia ansaita on mahdo-

tonta tutkia, mutta esim. tuuletusraossa olevien kuorielementtien kiinnikkeiden tutkiminen voi onnistua. Lisäksi tähystys antaa pääasiallisesti vain määrällistä tietoa (kiinnitysosa on/ei), kun monesti juuri laadullinen tieto rakenteista (esim. korroosioaste) olisi merkittävämpää kuntotutkimuksen kannalta. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 118.)

#### 3.4.10.4 Lämpökuvauus

Lämpökuvauksen avulla saadaan tietoa rakennuksen tai jonkin sen osa pinta- lämpötiloista, ja tutkimus toteutetaan siihen soveltuvalla kameralla. Tutkimus tulee yleensä kyseeseen vain erikoistapauksissa. Kuvauksen avulla voidaan paikantaa mm. ulkokuoren kiinnikkeiden paikat, mikäli niiden paikannus ei muilla keinoilla onnistu. Lämpökuvauksella voidaan selvittää seinien lämpö- teknisen toimivuuden taso, jos tutkimus on jostain syystä tarpeen suorittaa. Ilmanvuotokohdat on lämpökuvauksen avulla helppo paikantaa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 119.)

#### 3.4.10.5 Raudoitteiden potentiaalimittaus

Raudoitteiden potentiaalilla tarkoitetaan metallin jalousastetta ja tämän suureen arvo ilmoitetaan millivolteina. Mittaus voidaan suorittaa ainetta rikkomattomilla menetelmillä, ja tuloksista voidaan päätellä ovatko teräkset korroosio-tilassa. Menetelmä soveltuu ain harvoin julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimukseen. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 119.)

#### 3.4.10.6 Betonin kimmovasaramittaus

Kimmovasaramittauksella saadaan suuntaa-antavia arvoja tutkittavassa rakenteessa käytetyn betoni lujuudesta. Betonin kimmoisuudella ja puristuslujuudella on tietty yhteys, mutta menetelmä toimii vain suhteellisen uusien betonirakenteiden osalla, koska karbonatisoitumisen johdosta betonin pinnan kimmoisuus muuttuu merkittävästi. Kimmovasaraa tulee käyttää harkiten, sillä

syvemmillä rakenteessa tapahtunut betonin rapautuminen voi sillä jäädä huomaamatta. Monesti perinteinen vasarointi on parempi tapa havainnoida rapautumaa rakenteissa. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 119.)

#### 3.4.10.7 Koekuormitus

Koekuormituksella voidaan saada tietoa kiinnikkeiden kunnosta. Menetelmää voidaan käyttää pääasiallisesti joissain erikoistapauksissa, kuten suhteellisen pienien parvekkeiden kohdalla. Menetelmällä tulee kuormittaa rakennusosat, jotka ovat alttiina voimakkaimmalle säärasitukselle. Itse kuormitus toteutetaan painoilla, kuten kuivalaastisäkeillä tai vedellä täytetyillä astioilla. Testattava rakenne on tuettava riittävällä varmuudella ennen kuormituksen aloittamista. Koekuormituksella voidaan joissain tapauksissa varmistaa rakenteen kantavuus siten, ettei rakenteita tarvitse avata. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 120.)

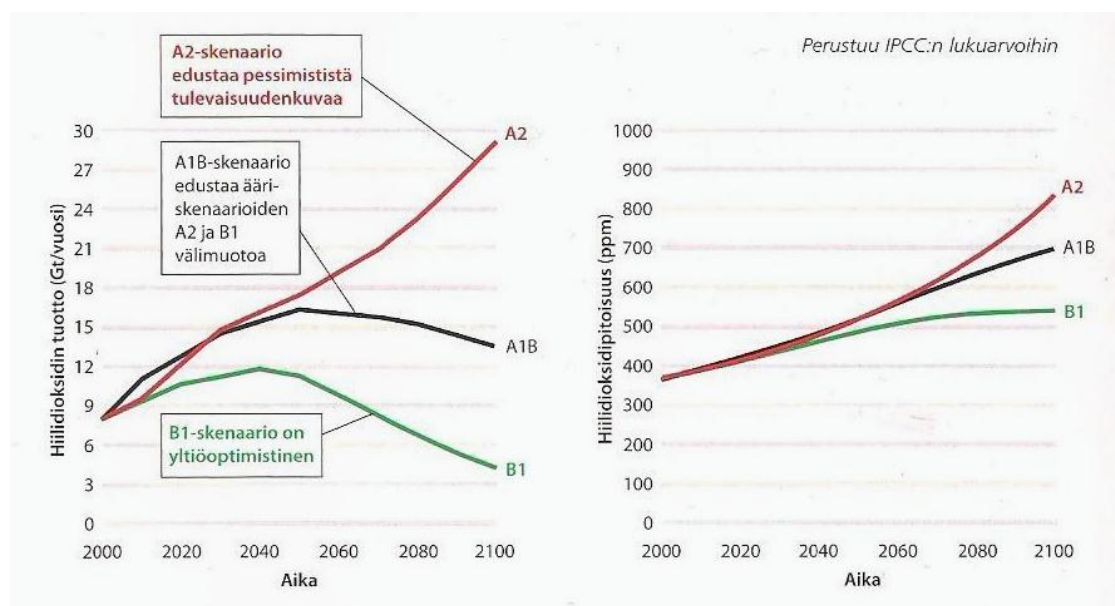
## 4 MUUTTUVA ILMASTO

### 4.1 Hiilidioksidi

Ylivoimaisesti tärkein kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Sen pitoisuus ilmakehässä on kasvanut teollistumista edeltäneestä n. 280 ppm:n tasosta jo yli 380 ppm:ään ja pitoisuus kasvaa edelleen n. 2 ppm:ää vuodessa. Hiilidioksidin pitoisuuden kasvuun vaikuttavat eniten fossiilisten polttoaineiden käyttö ja maankäytön muuttuminen. (Nevanlinna 2008, 45-46.)

Hiilidioksidi viipyy ilmakehässä pitkään ja sen pitoisuus tulee kasvamaan nykyisestään. IPCC eli Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli on esittänyt kolme SRES-kasvihuonekaasuskenaariota, joista A2-skenaario edustaa pessimististä tulevaisuudenkuvaa. B1-skenaario on taas yltiöoptimistinen ja A1B-skenaario on kahden edellisen välimuoto (SRES: Päästöskenaarioita käsitte-

levä erikoisraportti). Kuviossa 3 on esitetty nämä kolme skenaariota hiilidioksidin tuotannon kehityksestä ja sen vaikutuksista ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen. (Nevanlinna 2008, 63-64.)



KUVIO 3. Ihmiskunnan hiilidioksidipäästöjen ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden arvioitu kehitys. (Nevanlinna 2008, 64.)

## 4.2 Ultraviolettisäteily

Luonnollisten UV-säteilynvoimakkuuksien vaihteluiden lisäksi ihmisen toimet ovat vaikuttaneet säteilyn intensiteettiin. UV-säteilyltä suojaavan otsonikerroksen ohentumiseen vaikuttavat erityisesti 1900-luvulla käyttöön otetut klooriyhdisteet (suihkepullojen ponnekaasuissa sekä jäädytys- ja kylmälaitteissa) ja bromiyhdisteet (sammuttimissa). Nämä yhdisteet tuhoavat otsonia ja myös säilyvät ilmakehässä kauan, sillä ne eivät reagoi muiden aineiden kanssa eivätkä liukene veteen. Myös dityppioksidi ( $N_2O$ , ilokaasu) on osaltaan vaikuttamassa otsonin tuhoutumiseen. (Ikäheimonen, Jokela, Karvinen, Lehtinen, Marttila, Nyberg, Paile, Pastila, Pukkila, Pöllänen, Salomaa, Sandberg & Weltner 2009, 211-212.)

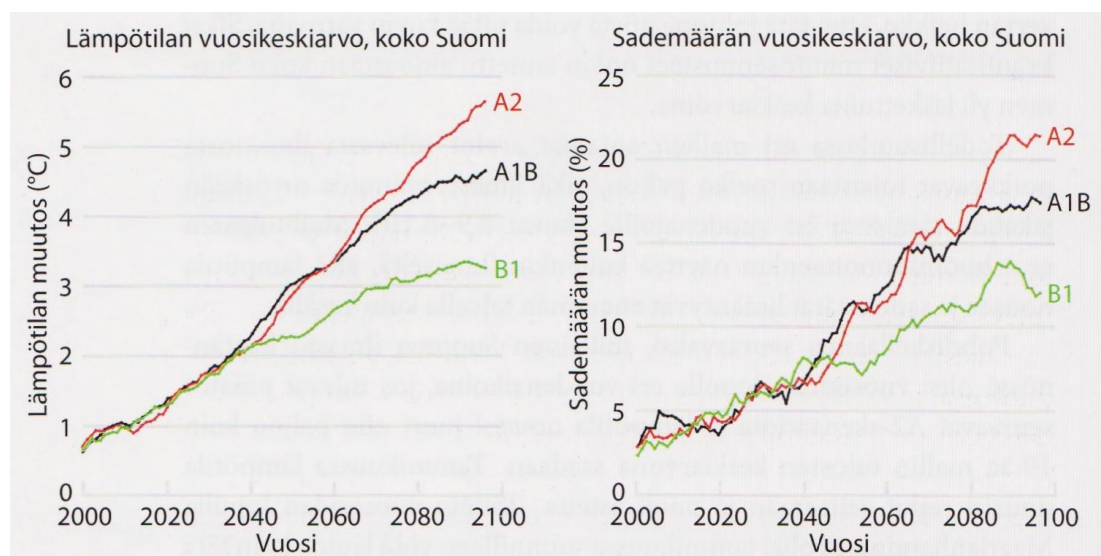
Eri sopimusten avulla otsonia tuhoavien yhdisteiden käyttöä on rajoitettu, ja oletettavasti näiden aineiden määrä ilmakehässä saadaan pudotettua vuoden 1980 tasolle noin vuonna 2050. Tämän seurauksena otsonikerros voisi palautua hiljalleen entiselleen. Tosin tuoreimpien tutkimusten mukaan ilmastonmuutoksella arvellaan olevan negatiivisia vaikutuksia otsonikerroksen korjaantumisen kannalta. (Ikäheimonen ym. 2009, 210.)

Pilvisyyden arvioidaan lisääntyvän vuosisadan loppuun mennessä Keski-Suomessa marras- ja helmikuun välisenä aikana eri skenaarioiden mukaan n. 4-6 prosenttiyksikköä. Kesällä pilvisuus toisien mallien mukaan vähenisi n. yhden prosenttiyksikön ja toisien mallien mukaan taas lisääntyisi hiukan. (Nevanlinna 2008, 144.)

### **4.3 Suomen ilmaston muuttuminen**

Oletettavasti Suomen ilmasto tulee lämpenemään keskimääräistä maapallon lämpenemistä nopeammin. Lämpenemisen nopeus määräytyy vahvasti päästöjen määrän kehityksestä. A2-skenaarion toteutuessa vuosisadan loppuun mennessä koko maapallon keskilämpötila olisi noussut lähes kuusi astetta, kun taas B1-skenaarion mukaan reilut kolme astetta. Myös keskimääräinen vuotuinen sademäärä tulee kasvamaan selvästi. Lämpötilojen nousu ja sademäärien kasvu ajoittuu enemmän talvikuukausille kuin kesään. Lisäksi muutokset tapahtuvat jonkin verran nopeammin Suomen pohjoisosissa kuin eteläosissa. (Nevanlinna 2008, 137.)

Kuviossa 4 on esitetty Suomen lämpötilojen ja sademäärien muuttuminen vuosien 2000-2100 aikana verrattuna perusjakson 1971-2000 keskiarvoon.



KUVIO 4. Suomen lämpötilojen ja sademäärien muuttuminen. (Nevanlinna 2008, 137.)

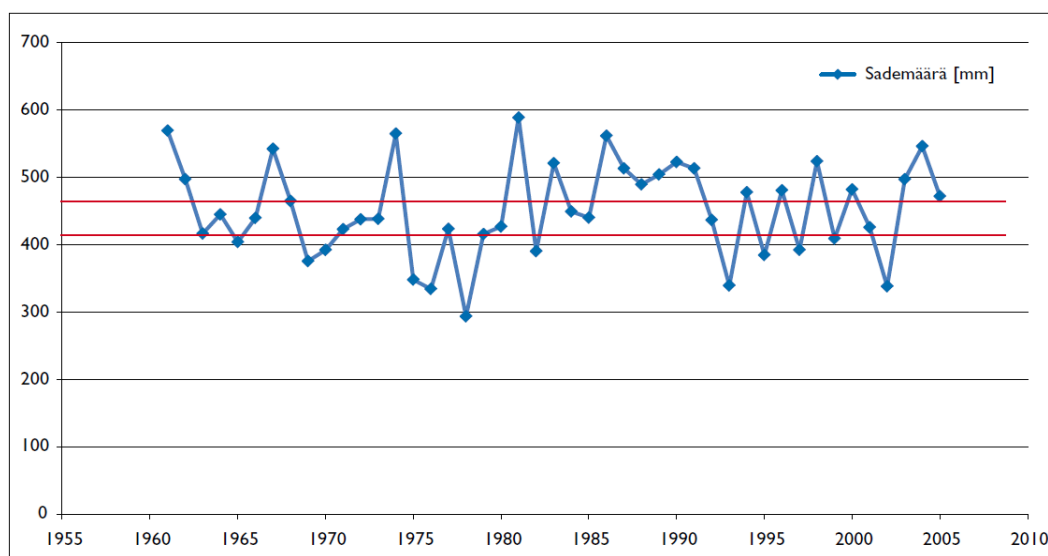
Eri skenaarioiden mukaan esim. tammikuun keskilämpötila voisi nousta jopa viidestä kymmeneen astetta. Talvisten sateiden arvioidaan taas kasvavan n. 15-30 % ja yhä suurempi osa sateesta tulisi vetenä. Säissä tulee olemaan myös normaaleja vuotuisia vaihteluita. Ilmaston lämpenemisestä huolimatta kovia pakkastalvia ja koleita kesiä esiintyy myös tulevaisuudessa. Tulevaisuuden ilmaston ennustus on todella vaikeaa, ja eri mallit antavat toisistaan merkittävästi poikkeavia tuloksia, mutta talvien sateiden lisääntymisessä voidaan olla melko varmoja. Kevät- ja kesäsateiden lisääntymisestä tai vähentymisestä taas on saatu eriäviä tuloksia eri malleilla. Sama pätee myös tulevaisuuden tuuliolosuhteisiin. Joidenkin tulosten mukaan tuulisuus lisääntyisi, mutta toisten tulosten mukaan tuulisuudessa ei tapahtuisi merkittäviä muutoksia. (Nevanlinna 2008, 139-142,144.)



## 4.4 Muuttuvan ilmaston vaikutukset rakenteisiin

### 4.4.1 Raudotteiden korroosio

Raudotteiden korroosionopeus riippuu karbonatisoituneessa betonissa rakenteen kosteuspitoisuudesta. Betonin saavuttaessa 85 %:n suhteellisen kosteuden terästen korroosionopeus kymmenkertaistuu alempaan kosteuspitoisuuden verrattuna ja kosteuden edelleen lisääntyessä myös korroosionopeus kasvaa entisestään. TTY:n suorittamassa tutkimuksessa (Suojaustoimien tehokkuus Suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa) on selvitetty terästen korroosionopeutta erilaisilla suojatuissa ja suojaamattomissa betonirakenteissa. Tulosten mukaan vuonna 2000 teräkset syöpyivät miltei kolminkertaisesti vuoteen 2001 verrattuna. Kuvioon 5 on merkitty edellä mainittujen vuosien vesi- ja räntäsademäärät siten, että alempi punainen viiva on vuodelta 2001 jolloin korroosionopeus oli suhteellisen pieni ja ylempi vuodelta 2000 jolloin terästen korroosionopeus oli lähestulkoon kolminkertainen vuoden 2001 korroosionopeuteen verrattuna. (Lahdensivu 2010, 28-29.)



KUVIO 5. Vetenä tai räntänä tullut vuotuinen sade Jyväskylän lentoasemalla. (Lahdensivu 2010, 29.)

Edellä käsiteltyjen Ilmatieteenlaitoksen ilmastonmuutosskenaarioiden mukaan sateiden määrä, eritoten talvisateiden määrä tulee, kasvamaan. 15-30 %:n lisäys talvisateiden määrään on varsin merkittävä. Kun otetaan huomioon se, että entistä suurempi osa talvisateista saadaan vetenä tai räntänä, voidaan päätellä, että betonijulkisivujen ja parvekkeiden kosteusrasitus tulee merkittävästi lisääntymään. Mikäli tuulisuus lisääntyy, lisää se entisestään kosteusrasitusta varsinkin rakennusten yläosissa. Talvisin rakenteiden kuivumismahdollisuudet ovat lisäksi varsin rajalliset, joten rakenteet voivat olla märkiä pitkiäkin aikoja kerrallaan, jolloin karbonatisoituneessa betonissa olevat teräkset ovat entistä suuremmassa vaarassa ruostua. Toisaalta betonin huokosverkoston täyttyessä vedellä, hiilidioksidin tunkeutuminen rakenteisiin hidastuu ja karbonatisoitumisen nopeus laskee.

Erityisesti ne julkisivut, jotka ovat aiemmin olleet paremmin suojassa kosteusrasitukselta, tulevat tulevaisuudessa kärsimään nopeastikin raudoitteiden korroosion seurauksista. Pohjoisen suunnalta tulleet talvisateet on saatu lumen muodossa, eikä tällä ole ollut vaikutusta terästen korroosionopeuteen. Tulevaisuuden talvien räntä- ja vesisateet kuitenkin aiheuttanevat suurempaa kosteusrasitusta näille julkisivuille ja edistävät korroosiota. Ongelma koskee eritoten ennen 1990-lukua rakennettujen rakennusten julkisivuja, jolloin terästen peitepaksuudet olivat varsin puutteelliset. 1990-luvun aikana ja sen jälkeen on siirrytty käyttämään suurempia peitepaksuuksia ja ruostumattomia teräksiä. Parvekerakenteissa peitepaksuudet ovat myös olleet puutteellisia eikä niissä olla täysin siirrytty ruostumattomien terästen käyttöön. Korroosio-ongelmiin niiden kohdalla tullaan törmäämään tulevaisuudessa uudenpienkin rakenteiden kohdalla. (Lahdensivu 2010, 29-30.)

#### 4.4.2 Pakkasrapautuminen

Pakkasrapautumisen vaara on erityisen suuri ennen vuotta 1981 rakennetuissa betonijulkisivu ja -parvekerakenteissa. Näistä rakenteista tyystin pakkaskestämättömiä on noin 70 %. Perinteisesti Suomessa pakkasrapautuminen on

ollut kiivainta rannikoilla, joilla rakenteisiin on kohdistunut voimakas kosteusrasitus viistosateen takia ja runsaiden jäätymissulamissykliä seurauksena. Kaikki betonissa oleva huokosvesi ei jäädy lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n. Ensin vesi jäätyy ns. gravitaatiohuokosissa, ja vasta sen jälkeen lämpötilan edelleen laskiessa jäätyy pienempien huokosten sisältämä vesi. Pakkasrapautumaan vaaditaan yleisesti ottaen -5...-10 °C: lämpötila. (Lahdensivu 2010, 30.)

Ilmatieteenlaitoksen tutkimuksen mukaan maan sisäosien ilmasto-olosuhteet tulevat tulevaisuudessa muistuttamaan entistä enemmän Suomen rannikkoseutujen olosuhteita. Kuten Lahdensivu (2010, 30) toteaa, pakkasrapautuminen on ollut pahinta juuri Suomen rannikkoseuduilla. Betonin ollessa pitkiä aikoja märkänä ja jäätymissulamissykliä vaihdellessa pakkasrapautumisten määrä tulee lisääntymään myös sisämaassa. Terästen korroosion tavoin pakkasrapautuminen tulee lisääntymään julkisivuilla ja parvekkeilla, jotka ovat olleet vähäisemmän kosteusrasituksen alaisena, kuten pohjoisen suunnalla, jolle sade on tavallisesti talvisin tullut lumena.

Julkisivuissa alettiin käyttää lisähuokostusta systemaattisesti vasta 1970-luvun puolivälissä. Tätä vanhemmat julkisivut ovat vaarassa altistua pakkasrapautumiselle tulevaisuudessa, jos ne eivät ole jo rapautuneet. Nämä rakenteet ovat voineet säilyä pakkasrapautumisen aiheuttamilta vaurioilta, mikäli käytetty betoni on ollut riittävän lujaa tai kosteusrasitus on pysynyt tarpeeksi alhaisena. Uudemmissa julkisivuissa käytetty aikaisempaa lujempi sekä lisähuokostettu betoni kestänee hyvin myös tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Tietysti, mikäli ilmasto lämpenee riittävästi varsinkin eteläisimmässä Suomessa, voi siellä pakkasrapautumisen riski pienetä pakkaskelien vähetessä.

Pakkasrapautumisen ja raudotteiden korroosion lisääntymisen seurauksena julkisivuille voi aiheutua muitakin vaurioita. Klinkkerilaattapintaisilla julkisivuilla on monesti havaittavissa laattojen vaurioitumista ja irtoamista juuri pakkasra-

pautumisen ja raudotteiden korroosion seurauksena. Myös julkisivuissa käytetyissä tiililaatoissa voi toisinaan havaita pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita. Tulevaisuudessa olosuhteiden muuttuessa otollisemmiksi pakkasrapautumisen kehitykselle on odotettavissa vaurioiden lisääntymistä tiililaattapintaisilla julkisivuilla. Pakkasrapautuminen voi vaurioittaa lisäksi julkisivujen ja parvekkeiden maalipintaa. Maalipinta voi turmeltua myös voimakkaan kosteusrasituksen ja pinnoitteen läpikulkevan kosteuden seurauksena. Tulevaisuus ei näytä siis yhtään valoisammalta pintatarvikkeille ja pinnoitteille kuin itse julkisivu- ja parvekerakenteillekaan.

#### 4.4.3 Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ennustetaan eri arvioiden mukaan nousevan nykyisestä 380 ppm:n tasosta vuosisadan loppuun mennessä noin 550-800 ppm:ään. Tämä tarkoittaa noin kaksin- tai kolmikertaista ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta verrattuna teollistumista edeltäneeseen aikaan. Paikallisesti nykyisinkin hiilidioksidipitoisuus voi nousta jopa suuremmaksi, mikäli alueella on runsasta hiilidioksidipäästöjä aiheuttavaa toimintaa, kuten moottoriliikennettä.

Ympäröivän ilman hiilidioksidipitoisuus on osaltaan vaikuttamassa betonin karbonatisoitumisnopeuteen. Betonin karbonatisoitumiskerroin  $k$ , joka kuvaa betonin karbonatisoitumisnopeutta, määritetään kaavalla  $k=y/\sqrt{t}$  ( $y$ = karbonatisoitumissyvyys ja  $t$ = betonin ikä). Kerroin on siis määritetty kokeellisesti ja ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta on pidetty vakiona. Aivan pienet muutokset ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksissa eivät vaikuta merkittävästi betonin karbonatisoitumiseen. Mikäli hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä pahimpien ennusteiden mukaan yli kaksinkertaistuu, on mahdollista, että betonirakenteiden karbonatisoitumisnopeus kiihtyy nykyisestä. Tämän seurauksena betoniteräksiset voivat menettää alkalisen betonin niille antaman suojan, jolloin ne altistuvat korroosiolle. Toisaalta tulee huomioida, että betonin karbonatisoituminen hidastuu mitä syvemmälle se rakenteessa etenee.

Ilmakehän hiilidioksidin määrän kehitykseen vaikuttaa merkittävästi mm. teknologinen kehitys, uudet polttoaineet, metsien hakkuut ja päästörajoitukset. Muuttujien suuresta määrästä johtuen tulevaisuuden ennustaminen on todella vaikeaa, mutta varmaa on että hiilidioksidin määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa edelleen. Kasvun suuruus on tosin vaikea ennustaa tarkasti.

#### 4.4.4 Ultraviolettisäteily

UV-säteily vaikuttaa betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kohdalla eritoten käytettyjen pinnoitteiden (maali) ja saumausmassojen turmeltumiseen. UV-säteilyn vaikutuksesta saumausmassan väri voi muuttua ja massa liituuntua. Massan rakenteen heiketessä saumaan voi ilmaantua myös halkeamia. UV-säteily yhdessä lämpösäteilyn kanssa aiheuttaa myös maalipintojen värin haalistumista ja muuttumista maalin sideaineiden hajotessa. Lisäksi pinnoitteet voivat halkeilla ja rakkuloitua. Sekä saumojen että maalipintojen turmeltuminen voivat vaikuttaa merkittävästikin rakennuksen esteettisyyteen. Lisäksi näiden osien turmeltuminen voi lisätä rakenteiden kosteusrasituksen tasoa. Pahasti haljenneen sauman kautta rakenteisiin voi päästä sadevettä, jolloin esimerkiksi eristeen lämmöneristämiskyky voi heiketä tai suotuisissa olosuhteissa mikrobikasvusto voi alkaa lisääntyä.

Eritoten kosteusteknisesti toimivat maalipinnat pienentävät rakenteiden kosteusrasitusta, mutta tämä hyöty menetetään maalipinnan halkeillessa ja hilseillessä. Turmeltunut maalipinta voi pahimmassa tapauksessa lisätä rakenteen kosteusrasitusta, koska maalipinnan halkeamien kautta sadevesi pääsee rakenteen sisälle, mutta se ei pääse haihtumaan tiiviin pinnan läpi. Tulevaisuudessa veden muodossa tulevien sateiden lisääntyessä, ehjien ja toimivien saumausmassojen ja maalipintojen merkitys korostuu entisestään.

Säteilyturvakeskuksen teettämän selvityksen mukaan UV-säteilyn määrä tulee vähenevän pikkuhiljaa otsonikerroksen palautuessa ennalleen. Menee tosin vielä useita vuosikymmeniä ennen kuin otsonikerrosta tuhonneiden yhdistei-

den vaikutukset ovat täysin korjautuneet. Vaikka kloori- ja bromiyhdisteiden määrän ilmakehässä odotetaan putoavan vuoteen 2050 mennessä vuoden 1980 tasolle, niin ovat näiden yhdisteiden pitoisuudet silti varsin korkeat. Uusimpien tutkimusten mukaan ilmastonmuutos voi tosin luoda yläilmakehään entistä otollisemmat olosuhteet otsonin tuhoutumiselle. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka yhdisteiden määrä vähenee hiljalleen, niiden vaikutus otsoniin tehostuu. Tämä vaikeuttaa UV-säteilyn määrän kehityksen ennustettavuutta merkittävästi.

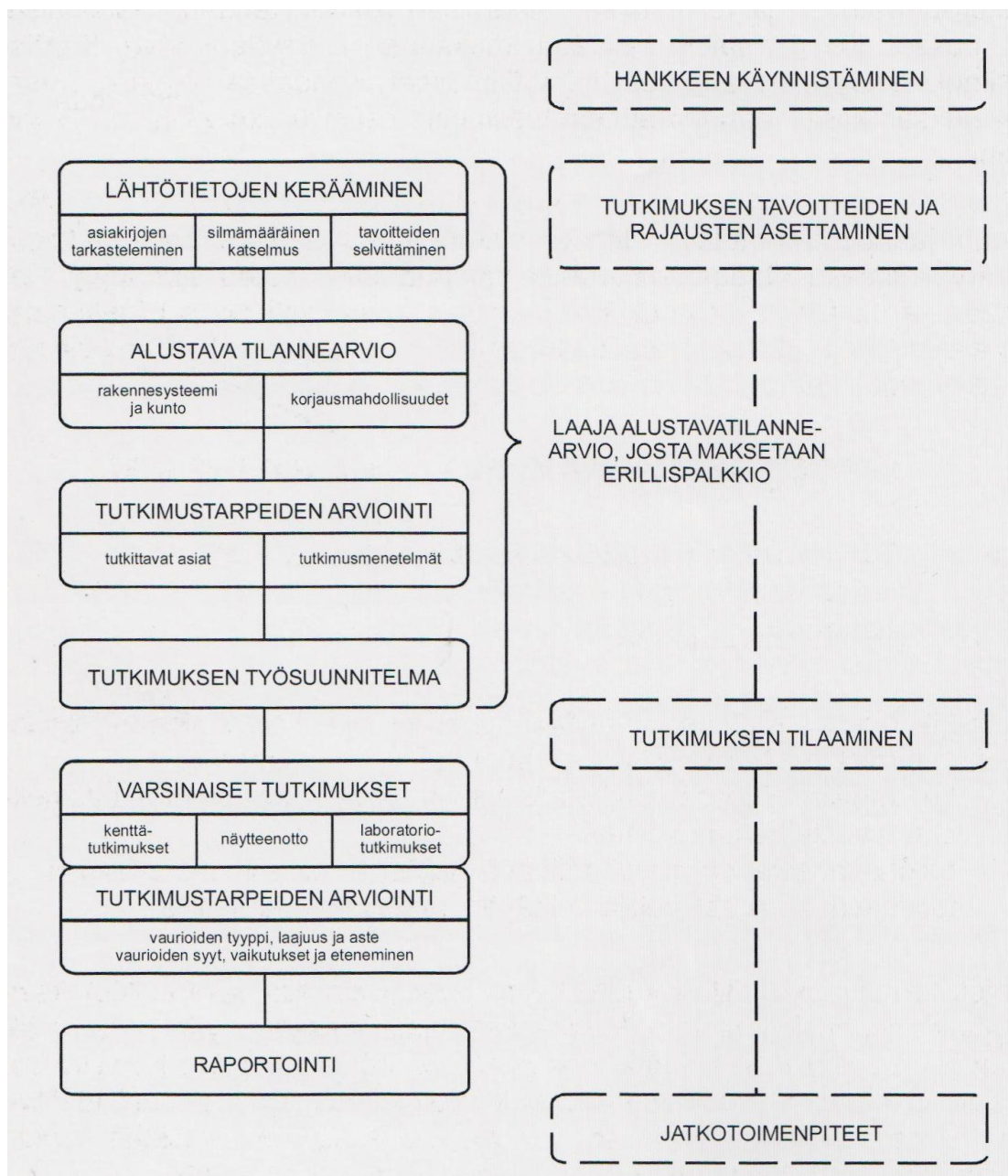
Vielä ei voida sanoa tarkasti kehityksen suuntaa, vaan epävarmuustekijöiden takia ennusteissa on esitetty säteilytason pienentyvän, lisääntyvän tai pysyvän nykyisellä tasollaan kuluvalle vuosisadalla. UV-säteilyn muutoksen vaikutukset saumausmassoille ja maalipinnoille riippuu täysin muutoksen suuruudesta ja suunnasta. Täten on vielä mahdotonta sanoa mitään täysin varmaa asiasta. Saumausmassojen ja maalipintojen kestävyys kannalta olisi tietenkin parasta, mikäli UV-säteilyn voimakkuus kääntyisi laskuun tulevaisuudessa.

Ennusteiden mukaan pilvisuus lisääntyy Suomessa jonkin verran, mutta lisäys ajoittuisi pääosin marras- ja helmikuun väliselle ajalle joten sen UV-säteilyä pienentävä vaikutus on häviävän pieni.

## **5 KUNTOTUTKIMUKSEN TOTEUTUS**

### **5.1 Kuntotutkimuksen vaiheet**

Kuntotutkimus etenee yleensä kuvion 6 mukaisesti. Eheällä viivalla on merkitty tutkimuksen etenemisen vaiheet kuntotutkimuksen suorittajan näkökulmasta ja katkoviivalla tilaajan kannalta.



KUVIO 6. Kuntotutkimuksen suositeltava eteneminen.  
(Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 60.)

## 5.2 Toteutetut tutkimukset

### 5.2.1 Yleistä

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimus suoritettiin 9.8.2011 Jyväskyläläisessä asunto-osakeyhtiössä. Tämä viisikerroksinen asuinkerrostalo oli valmistunut vuonna 1969. Rakennuksessa oli yhteensä 60 huoneistoparveketta ja 12 tuuletusparveketta. Ulkoseinät oli toteutettu betonisandwich-elementeillä, joissa oli pystyharjattu ja maalattu betonipinta. Suoritetun kuntotutkimuksen tarkoituksena oli selvittää parvekkeiden ja julkisivujen kunto, korjaustarve ja korjausten kiireellisyys.

Tutkimukset aloitettiin tutustumalla kohteesta löytyneisiin rakennepiirustuksiin ja muihin asiakirjoihin. Niistä pyrittiin selvittämään eritoten parvekkeiden tuentatapa ja keräämään tietoa rakenteissa käytetyistä raudoitteista sekä muuta yleistä tietoa rakenteista. Asiakirjoista oli mahdollista selvittää muutakin oleellista tietoa kohteesta mm., oliko parvekkeet toteutettu käyttämällä elementtejä vai olivatko ne paikallavalettuja. Lisäksi piirustuksista otettiin kuvia myöhemmää tarkastelua varten. Myös paikalla olleilta asukkailta pyrittiin kyselemään tietoa mm. aikaisemmin suoritetuista korjauksista.

### 5.2.2 Kenttätutkimukset

Suoritettujen kuntotutkimusten yhteydessä tietoa rakenteiden kunnosta koottiin seuraavilla menetelmillä:

- arvioimalla julkisivujen, parvekkeiden, saumojen ja maalipinnan kuntoa ja vaurioita silmämääräisesti (vauriotyyppi, kuinka pitkälle edennyt, laajuus)
- tarkastamalla silmämääräisesti parvekelaattojen kannatukset, vedenpoiston toiminta, parvekelaattojen kallistukset sekä vedeneristyksen ja pintarakenteiden kunto
- mittaamalla raudoitteiden betonipeitepaksuuksia elektronisella peitepaksuusmittarilla (peitepaksuudet mitattiin erikseen parvekkeiden kaiteiden ulko-



ja sisäpinnasta, pielistä, parvekelaatan ala- ja yläpinnasta, julkisivuista ja ikkunoiden pielistä)

- vasaroimalla riskialttiita kohtia (rapautuneen betonin havaitseminen, raudotteiden korroosion aiheuttaman betonin hajoamisen laajuuden selvitys)
- poraamalla näytelieriöitä timanttiporalla (näytteitä erikseen julkisivuista, parvekkeiden kaiteista, pielistä ja laatoista)
- tutkimalla porattuja näytelieriöitä silmämääräisesti (käytetty runkoaineen raekoko, nähtävillä olevien huokosten koko ja määrä, karbonatisoitumissyvyys)
- mittaamalla eristepaksuudet näytelieriöitä varten poratuista rei'istä
- ottamalla näyte saumausmassasta (mattoveitsellä)
- poraamalla jauhenäytteitä kloridipitoisuuden tutkimusta varten (parvekelaatasta ja julkisivusta).
- kuvaamalla näkyviä vaurioita

Näytteidenottopaikat merkattiin julkisivupiirroksiin ja näytteet nimettiin niin, että ne on helppo tunnistaa. Näytteet pyrittiin ottamaan paikoista, jotka edustaisivat mahdollisimman hyvin koko tutkittavaa rakennusosaa. Lieriönäytteiden ottaminen suoritettiin halkaisijaltaan 55 mm:n kokoisella timanttiporalla. Lieriöitä porattiin yhteensä kahdeksan kappaletta julkisivuista, neljä parvekkeiden kaiteista, neljä pielistä ja viisi laatoista. Lisäksi otettiin yksi saumausmassanäyte julkisivusta sekä yhteensä kaksi jauhenäytettä julkisivusta ja parvekkeen laatasta. Lieriöitä porattiin jokaiselta neljältä julkisivulta, jotta otanta olisi mahdollisimman kattava. Näin saadaan parempi käsitys mm. rakenteiden valmistuksenaikaisista laatumuutoksista ja julkisivun ilmansuunnan vaikutuksista rakenteiden rasitustasoon. Näytelieriöistä tarkastettiin silmämääräisesti betonin laatua (halkeilu, rapautuminen, tiiviys), rakenteen ja rakennekerrosten paksuuksia, suojabetonikerroksen paksuus ja terästen mahdollinen korroosio.

Eristekerros mitattiin keskimäärin 66 mm:n paksuiseksi ja ulkokuoren paksuus vaihteli 40-80 mm:n välillä. Parvekelaattojen kantavan osan paksuus oli 150-220 mm ja pintalaatan 22-130 mm. Pieliseinien paksuus vaihteli 150-182

mm:n välillä ja kaiteiden paksuus oli 80-90 mm. Lieriöistä voitiin havaita, että betonissa oli käytetty varsin suurirakeistakin runkoainetta. Osassa näytteistä karbonatisoituminen oli selkeästi havaittavissa vaaleampana vyöhykkeenä. Lisäksi porauksen yhteydessä saatiin havainto, jonka mukaan elementeissä käytetyt ansaat olivat ruostumattomasta teräksestä.

Näyteliieriöt ruiskutettiin fenoliftaleiiniliuoksella jo kentällä, mutta tarkempi karbonatisoitumissyvyys määritettiin vasta laboratoriossa. Osassa näytteistä oli havaittavissa käytetyn pinnoitteen vaikutus karbonatisoitumiseen, koska karbonatisoituminen ei ollut edennyt juuri pintaa syvemmälle. Ero karbonatisoitumissyvyudessa yhdessä näytteessä saattoi eri pinnoilla olla todella merkittävä. Kuviossa 7 nähdään kuinka fenoliftaleiiniliuos värjää karbonatisoitumattoman betonin violetiksi jolloin karbonatisoitumissyvyys on helppo mitata.



KUVIO 7. Näyteliieriöiden suihkutusta fenoliftaleiiniliuoksella

Rakenteissa oli monin paikoin silmämääräisesti havaittavissa raudoitteiden korroosion aiheuttamia vaurioita. Paikoitelleen betonipeite oli halkeillut ja lohkeillut suuriltakin alueilta. Vaurioituneita kohtia löytyi niin julkisivuista, parveke-laatoista kuin kaiteistakin. Irtoconin alta paljastuneista teräksistä saattoi päätellä, että suojabetonipaksuudet olivat ainakin paikoitellen täysin riittämättömät. Samaa käsitystä tuki peitepaksuusmittarilla saadut tulokset sekä havainnot lieriönäytteistä, joissa osassa teräkset olivat aivan lieriön pinnassa karbonatisoitumisvyöhykkeellä.

Suurempia pakkasrapautumavaurioita rakenteista ei kenttätutkimusten yhteydessä löytynyt, vaikka rakenteita vasarointiin laajoilta alueilta. Muutamaa vuotta aiemmin maalatun sokkelin pinnoitteeseen oli jo ilmestynyt halkeamia varsinkin etelänpuoleiselle julkisivulle. Muidenkin rakenneosien maalipinnoisssa oli havaittavissa merkittävää kulumista ja maali irtoili varsin suurinakin levyinä. Pinta oli myös osittain likaantunut. Elementtien saumat oli uusittu, mutta tarkkaa tietoa uusimisen ajankohdasta ei ollut saatavilla. Saumojen vaurioitumisen laajuudesta voitiin kuitenkin päätellä niiden käyttöiän olevan loppuillaan. Massassa oli runsaasti halkeamia jotka haittasivat sauman tiiveyttä. Lisäksi ulkokuoren taustan tuuletusta ei ollut hoidettu mitenkään.

Kohteessa oli havaittavissa myös joitakin muita rakenteiden kosteusrasitustasoja lisääviä seikkoja. Parvekkeilla rasitusta lisäsi kaiteiden läpimenevien ulosheittoputkien liian pieni halkaisija, jolloin ne tukkeutuvat helposti. Osasta parvekkeista putket puuttuivat kokonaan ja monella parvekkeella putket olivat liian lyhyitä. Lisäksi laattojen kallistukset olivat varsin puutteelliset. Jotkut parvekkeista oli lasitettu, jolloin näiden kosteusrasitusta oli saatu pienennettyä. Julkisivujen tutkimisen yhteydessä havaittiin, että joissakin rakenteiden liittymäkohdissa oli riski veden pääsulle rakenteisiin (mm. myrskypeltien puuttuminen). Ikkuna-aukkojen alapuolisilta osilta maalipinta oli monin paikoin irronnut betonipohjasta. Tästä voitiin päätellä, että seinän lämmöneristetilaan on päässyt vettä ikkuna-aukkojen kautta. Rakennukseen oli kuitenkin asennettu uudet

ikkunat, joiden paremman liittymien tiiviyden ansiosta kosteusrasitus on pienentynyt.

Lieriöiden sekä jauhenäytteen porauksen yhteydessä syntyneet reiät paikattiin välittömästi laastilla ja elementtien saumaan syntynyt aukko uudella saumausmassalla. Korkealla olleiden rakenteiden tutkiminen suoritettiin autonomisessa olevasta henkilönostoihin suunnitellusta korista käsin. Samalla päästiin helposti parvekkeille, ja vältettiin turhaa huoneistojen sisällä liikkumista.

### 5.2.3 Laboratoriotutkimukset

Laboratoriotutkimukset suoritettiin WSP Tutkimus KORTES Oy:ssä Oulussa luvussa 4 Kuntotutkimusmenetelmät esitetyillä menetelmillä. Poratuille näytelieriöille tehtiin laboratoriotutkimusten yhteydessä tarkempi karbonatisoitumissyvyyden mittaus sekä 14 vetokoetta ja neljä ohuthietutkimusta.

Ohuthietutkimusten yhteydessä näytteistä selvitettiin betonin karbonatisoitumissyvyys, tiivistyksen onnistuminen, käytetyn runkoaineen laatu ja sideaineen tyyppi, runko- ja sideaineiden välinen tartunta, huokosrakenne, halkeilu, säröily ja kiteytyminen. Lieriöistä saatiin myös maalinäyte, josta tutkittiin sisältääkö julkisivujen maali asbestia. Poraamalla saaduista jauhenäytteistä määritettiin betonin kloridipitoisuus. Lisäksi saumausmassanäytteestä selvitettiin sisältääkö se PCB- ja lyijy-yhdisteitä.

Taulukossa 1 on kuvattu julkisivunäytteille suoritettut tutkimustoimenpiteet ja karbonatisoitumissyvyudet.

TAULUKKO 1. Julkisivunäytteet

Näyte	Havainnot (up= ulkopinta)	Karbonatisoituminen		Tutkimus- toimenpiteet
		ulko-/ ylä- pinnasta [mm]	sisä-/ ala- pinnasta [mm]	
1	50 mm up pinnoite	20	0	Ohuthie, up
2	80 mm up pinnoite	18	0	Veto
3	65 mm up pinnoite	32	10	Veto
4	74 mm up pinnoite	20	2	Asbesti
5	60 mm up pinnoite	36	1	Veto
6	65 mm up pinnoite	12	0	Veto
7	60 mm up pinnoite	25	1	Veto
8	40 mm up pinnoite	20	0	-

Taulukossa 2 on esitetty parvekenäytteille suoritettut tutkimustoimenpiteet ja karbonatisoitumissyvytydet.

TAULUKKO 2. Parvekenäytteet

Näyte (P= pieli, K= kaide, L= laatta)	Havainnot (up= ulkopinta, sp= sisäpinta, yp= yläpinta ap= alapinta)	Karbonatisoituminen		Tutkimus- toimenpiteet
		ulko-/ ylä- pinnasta [mm]	sisä-/ ala- pinnasta [mm]	
9 P	75 mm up pinnoite	27	15	-
10 K	82 mm up, sp pinnoitteet	15	20	Veto
11 L	210 mm, pintalaatta 25 mm yp, ap pinnoitteet	5	15	Veto
12 L	210 mm, pintalaatta 22-37 mm (näyte katk. 77 mm yp) yp, ap pinnoitteet	5	42	Veto, yp Ohuthie, ap
13 K	85 mm up, sp pinnoitteet	10	13	Veto
14 P	182 mm up, sp pinnoitteet	15	22	Veto
15 L	220 mm, pintalaatta 65 mm (näyte katk. 85 mm yp) yp, ap pinnoitteet	5	33	Ohuthie, ap
16 K	85 mm up, sp pinnoitteet	15	11	Veto
17 P	150 mm, up ~ 14 mm laasti, sp ~ 2 mm laasti up, sp pinnoitteet	28	15	Veto
18 L	280 mm, pintalaatta 122 mm (näyte katk. 35 mm ap) yp, ap pinnoitteet	5	23	Veto
19 K	80 mm up, sp pinnoitteet	22	20	-
20 P	177 mm up, sp pinnoitteet	22	24	Ohuthie, sp
21 L	280 mm, pintalaatta 130 mm yp, ap pinnoitteet	4	25	Veto

Taulukossa 3 on kuvattu rakenteista porattujen kloridipitoisuusnäytteiden laboratoriotutkimusten tulokset.

TAULUKKO 3. Kloridipitoisuudet

Näyte	Rakenneosa	Kloridipitoisuus betonin painosta (%)
CL1	Parvekelaatta	0,01
CL2	Julkisivu	0,01

Liian korkea kloridipitoisuus voi käynnistää betoniraudoitteiden korroosion myös karbonatisoitumattomassa betonissa. Kloridipitoisuuden rajana pidetään 0,03...0,07 p-%:a. (Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, 23.)

Näytteistä mitatut arvot ovat kuitenkin edellä esitettyjä pienempiä, joten teräskorroosioriskiä kloridien vaikutuksesta ei ole.

Taulukossa 4 on esitettyinä läpivalaisuelektronimikroskoopilla suoritettun maalinpinnoitteen asbestianalyysin tulos.

TAULUKKO 4. Maalinpinnoitteen asbestianalyysi

Näyte	Rakenneosa	Menetelmä	Tulos
7	Pinnoite, julkisivu	EM	Ei sisällä asbestia

Koska maalinpinnoite ei sisällä asbestia, mahdolliset purkutyöt ja jätteiden käsittely eivät edellytä erityistoimenpiteitä.

Taulukossa 5 on esitetty koekappaleiden vetolujuusarvot.

TAULUKKO 5. Koekappaleiden vetolujuusarvot

Näyte	Näytteenottoaika	Vetolujuus [MN/m <sup>2</sup> ]	Murtokohta/-tapa
2	julkisivu	2,2	42-47 mm ulkopinnasta, myötäilee
3	julkisivu	2,7	24-34 mm ulkopinnasta, leikkaa, (teräs 8 mm)
5	julkisivu	2,4	34-39 mm ulkopinnasta, myötäilee
6	julkisivu	1,8	30-39 mm ulkopinnasta, leikkaa
7	julkisivu	2,4	23-45 mm ulkopinnasta, leikkaa
10	parvekkeen kaide	2,1	29-47 mm ulkopinnasta, leikkaa
11	parvekkeen laatta	2,2	18-30 mm ala pinnasta, myötäilee
12	parvekkeen laatta	0,7	22-34 mm yläpinnasta, myötäilee (valun tartunta)
12 uusinta	parvekkeen laatta	2,2	22-33 mm yläpinnasta, myötäilee (valun tartunta)
13	parvekkeen kaide	2,5	40-50 mm ulkopinnasta, leikkaa
14	parvekkeen pieli	3,0	25-41 mm ulkopinnasta, leikkaa
16	parvekkeen kaide	1,9	62-80 mm ulkopinnasta, leikkaa
17	parvekkeen pieli	2,4	42-50 mm sisäpinnasta, leikkaa
18	parvekkeen laatta	1,3	9-23 mm yläpinnasta, leikkaa, (teräs 10 mm)
18 uusinta	parvekkeen laatta	1,8	30-35 mm yläpinnasta, myötäilee
21	parvekkeen laatta	1,1	25-44 mm alapinnasta, myötäilee, (teräs 8 mm)
21 uusinta	parvekkeen laatta	1,6	23-38 mm alapinnasta, leikkaa



Vetolujuuden ollessa luokkaa  $0 \text{ MN/m}^2$  on näytteessä todettavissa pitkälle edennyttä rapautumaa. Vetolujuuden arvoilla  $0,5\text{-}1,0 \text{ MN/m}^2$  näytteessä on todennäköisesti jonkinasteista rapautumaa ja yli  $1,5 \text{ MN/m}^2$ :n arvoilla näytteessä ei todennäköisesti ole merkittävää rapautumaa. (Betonijulkisivujen kunnututkimus 2002, 104.)

Koekappaleiden vetolujuusarvoista on havaittavissa, että julkisivuista, parvekkeiden kaiteista ja pielistä otettujen näytteiden lujuusarvot ovat yleisesti joko hyviä tai kohtalaisia. Näin ollen viitteitä näiden rakenneosien pakkasrapautumisesta ei ole saataville. Parvekelaatoista otettujen koekappaleiden vetolujuusarvot vaihtelevat heikon ja välttävän välillä. Vaarana on, että heikoimpien parvekkeiden rapautuminen alkaa kiihtyvällä nopeudella.

Julkisivun elementtisaumanäytteen PCB- ja lyijypitoisuusmääritysten tulokset on esiteltyinä taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Julkisivun elementtisauman PCB- ja lyijypitoisuudet

Näyte	Materiaali/ näytteenottoaikka	PCB-pitoisuus [mg/kg]	Lyijypitoisuus [mg/kg]
Sauma 1	Julkisivun elementtisauma	40000	-

PCB- jätteelle on asetettu raja-arvo  $50 \text{ mg/kg}$ , jolloin jäte tulee käsitellä ongelmajätteenä. Vastaavaa rajaa lyijypitoisuudelle ei ole määritetty, mutta on suositeltavaa käsitellä saumajäte ongelmajätteenä lyijypitoisuuden ylittäessä  $1500 \text{ mg/kg}$ . (Haukijärvi & Pentti 2011.)

Koska PCB-pitoisuuden raja-arvo ylittyy, tulee purkutyöt suorittaa ko. tapaukselle annettujen ohjeiden mukaan. Lisäksi purkujäte on käsiteltävä ja hävitettävä ongelmajätteenä.

Suoritettujen ohuthietutkimusten tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Ohuthietutkimus

Näyte	Näytteen- ottokohta	Kuntoluokka	Pakkasenkestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus
1	Julkisivu, up	0-17 mm välttävä, 17-48 mm tyydyttävä	Ei/ei	2
12	Laatta, ap	0-18 mm välttävä, 18-48 mm hyvä	Ei/ei	1
15	Laatta, ap	välttävä	Ei/ei	2
20	Pieli, sp	tyydyttävä	Ei/ei	0

Taulukossa rapautuneisuutta on kuvattuna asteikolla 0-4 jossa 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

#### 5.2.4 Korjaussuositukset

Jotta korjauksien laatu ja onnistuminen voidaan varmistaa, tulee korjaussuunnitelman ja valvonnan asiantuntemukseen kiinnittää huomiota. Korjaussuositukset ovat vain pääpiirteisiä, joten kustannusarviotkin ovat vain suuntaa antavia. Korjausvaihtoehdon valinnassa ei tule tarkastella pelkästään korjaukseen kuluvia investointikustannuksia, vaan tulee huomioida eri korjausvaihtoehtojen kaikki toteutuvat elinkaarikustannukset koko tarkastelujaksolla. Investointikustannusten lisäksi näitä ovat käytön aikaisesta huollosta ja ylläpidosta koituvat kustannukset sekä uusimiskustannukset.

#### 5.2.4.1 Julkisivut

Julkisivujen osalta kunnostus olisi syytä toteuttaa 2-4 vuoden sisällä. Korjaus-  
tavalle on kaksi eri vaihtoehtoa:

##### 1. Julkisivujen kunnostus:

- yksittäisten korroosioaurioiden korjaus (terästen esiin piikkaus, puhdistus, suojakäsittely ja laastikorjaus)
- maalattujen julkisivujen painepesu ja pinnoitus
- elementtien välisten saumojen uusiminen
- ikkunapeltien maalaus ja ikkunoiden tiivisteiden korjaus
- kuntotutkimus 5-8 vuoden päästä kunnostuksesta.

Kustannusarvioksi korjauksille tulee noin 50-75 €/julkisivuneliö. Betoniraken-  
teiden käyttöikäarvio on 10-15 vuotta ja 8 vuoden kuluttua kunnostuksesta  
seurataan betonin kuntoa uudella kuntotutkimuksella.

##### 2. Julkisivujen lämpörappaus:

- tarvittaessa elementtien kiinnitys sisäkuoreen
- lisälämmöneristys vanhojen julkisivuelementtien päälle
- kolmikerrosrappaus eristeen päälle
- pellitysten uusiminen
- ikkunoiden uusiminen/korjaaminen (ei sisälly kustannusarvioon)

Korjausten kustannusarvio on noin 150-175 €/julkisivuneliö. Käyttöikä arvio on  
30 vuotta. Tähän vaihtoehtoon liittyy alkuperäisten ikkunoiden uusiminen,  
koska korjaus vaikuttaa ikkunoiden liitosdetaljeihin.

#### 5.2.4.2 Parvekkeet

Parvekkeiden kosteusrasitustasoa alentamalla pyritään lisäämään niiden käyt-  
töikää. Samoin julkisivulevyillä verhoiltujen parvekepielien kosteusrasitusta on

tarkoitus pienentää parantamalla levyjen ja betonielementtien välitilan tuuletumista. Myös parvekkeiden korjaustavalle on kaksi eri vaihtoehtoa:

#### 1. Peruskorjaus:

- parvekelasitukset ja muut varusteet puretaan
- kaiteet puretaan
- betonipintojen puhdistus ja vanhojen maalipintojen poistaminen
- korroosiovaurioituneiden sekä lähellä pintaa olevien terästen esiin piikkaaminen ja suojaaminen teräksensuojalaastilla
- valukorjaukset rapautuneisiin alueisiin
- laastikorjaukset ja ylitasoitukset sekä pinnoitus
- uusien kaiteiden asennus
- vedenpoiston uusinta, pinnoitus esim. polyuretaanipinnoittella
- uusien parvekelasitusten asentaminen

Korjauksen kustannusarvio parvekettä kohden on noin 10000-12000 €. Parvekkeiden käyttöikä korjausten jälkeen olisi noin 10-15 vuotta.

#### 2. Parvekkeiden käyttäminen loppuun:

Tässä korjausvaihtoehdossa parvekerakenteille tehdään korkeintaan vain kaikkein välttämättömimmät korjaustoimenpiteet ja käytetään hyväksi rakenteiden jäljellä olevaa teknistä käyttöikää. Hyväksytään vaurioiden runsas kiihtyvä lisääntyminen joka tapahtuu todennäköisesti hyvinkin nopeasti.

Parvekkeiden korjaaminen ei myöhemmin enää ole kannattavaan ja ne uusitaan kokonaisuudessaan noin viiden vuoden päästä. Kustannusarvio parvekettä kohden on noin 15000-20000 €. Parvekerakenteiden käyttöikäarvio korjausten jälkeen on yli 30 vuotta, laattojen yli 50 vuotta.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aihe oli todella mielenkiintoinen, mutta samalla myös hyvin haastava. Tutkimuksen edetessä ja kerätessäni tietoa ilmastonmuutoksesta sain havaita, että aivan eksaktia tietoa ilmastonmuutoksen kehityksestä on vielä hyvin vaikeaa, ellei jopa mahdotonta saada. Parhaatkin mallit tulevaisuuden ilmastosta ovat vain hyviä arvauksia, mutta kuitenkin suuntaa-antavia. Tiedetään siis melko hyvin mihin suuntaan ilmasto on muuttumassa, mutta muutoksien suuruutta on vielä vaikeaa arvioida tarkasti. Joidenkin selvitysten, kuten UV-säteilyn voimakkuuden kehityksen, virhemarginaali oli tosin niin suuri, että mitään varmaa asiasta oli mahdotonta sanoa. Tämä johtui niin valtavasta määrästä muuttujia, jotka vaikuttavat kehityksen suuntaan, että parhaatkaan tutkijat eivät kykene parantamaan ennustuksia ennen kun tulevaisuudessa aiheesta saadaan lisää tietoa. Ilmastonmuutoksen lähdeaineistoksi oli saatavilla todella uusia tutkimuksia - keskimäärin vain pari vuotta vanhoja julkaisuja - joten tieto on parasta ja ajankohtaisinta, mitä aiheesta on tällä hetkellä tarjolla. Lisäksi teoksissa oli käsitelty ilmaston muutosta juuri Suomen kannalta.

Tutkimuksen avulla saatiin lisätietoa siitä millaisia vaikutuksia ilmastonmuutoksella on betonisille julkisivuille ja -parvekkeille. Tietämyksen lisäys auttaa parhaassa tapauksessa ennakoimaan tulevia ongelmia ja varautumaan niiden aiheuttamiin mahdollisiin rakenteiden vaurioitumisiin. Lisäksi tutkimuksesta muodostui hyvä yleisteos ajatellen kuntotutkimuksen suoritusta.

Tutkimusta olisi hyvä tarkentaa noin 5-10 vuoden päästä, jolloin tiedon määrä ilmastonmuutoksesta olisi lisääntynyt ja tiedon tarkkuus parantunut. Vielä tätä myöhemmät tutkimukset voisivat käsitellä konkreettisesti sitä, kuinka muuttuva ilmasto on vaikuttanut rakennuskantaan.

Tutkimusta tehdessäni sain paljon lisätietoa betonirakenteiden vaurioitumisavoista, rakenteiden kuntotutkimusmenetelmistä ja ilmastonmuutoksesta. Mah-

dollisuus päästä mukaan suorittamaan julkisivujen- ja parvekkeiden kuntotutkimusta tarjosi hyvän tilaisuuden perehtyä aiheeseen käytännönläheisemmästä näkökulmasta. Päivä jolloin tutkimus suoritettiin, oli todella mielenkiintoinen ja antoisa. Työskentely yhdessä alan ammattilaisten kanssa ja tutkimuksen etenemisen seuraaminen aivan lähietäisyydeltä oli hyvin opettavaista. Päivän aikana sain myös hyvin konkreettisen kuvan millaisia ominaisuuksia kuntotutkijalta edellytetään. Koulutukseni edetessä huomasinkin mielenkiintoni heräävän juuri kuntotutkimuksen parissa työskentelyä kohtaan, joten tutkimuksen aihe oli mitä sopivin juuri minulle.

## LÄHTEET

Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002. 2002. Suomen betoniyhdistys ry. 2002. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005. Suomen betoniyhdistys ry. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Haukijärvi, M. & Pentti, M. 2011. PCB- ja lyijy-yhdisteet. Toimenpidesuosituksset julkisivujen korjauksissa. Viitattu 25.11.2011. [Http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=388991&lan=FI](http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=388991&lan=FI).

Ikäheimonen, T.K., Jokela, K., Karvinen, H., Lehtinen, J., Marttila, O.J., Nyberg, H., Paile, W., Pastila, R., Pukkila, O., Pöllänen, R., Salomaa, S., Sandberg, J. & Weltner, A. 2009. Säteily- ja ydinturvallisuus, Ultravioletti- ja lasersäteily. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Ilmasto.org Kaikki ilmastonmuutoksesta. 2011. Viitattu 19.9.2011. [Http://www.ilmasto.org/](http://www.ilmasto.org/).

Lahdensivu, J. 2010. Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Helsinki: Edita Prima Oy.

Nevanlinna, H. 2008. Muutamme ilmastoa. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Raksystems Anticimex. n.d. Terveellisen ja turvallisen elinympäristön asialla. Viitattu 17.12.2011. [Http://www.raksystems.fi/content/fi/11501/11/11.html](http://www.raksystems.fi/content/fi/11501/11/11.html).