



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tommi Karihtala

Rakennetyyppien vaikutus julkisivujen kuntotutkimuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (Ylempi AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

29.10.2021

Tekijä Otsikko	Tommi Karihtala Rakennetyyppien vaikutus julkisivujen kuntotutkimuksessa
Sivumäärä Aika	65 sivua + 2 liitettä 29.10.2021
Tutkinto	Insinööri (Ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Korjausrakentaminen
Ohjaajat	Eveliina Mattila, Aluepäällikkö, Vahanen Pori Tapani Järvenpää, Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Opinnäytetyön aiheena on erilaisten rakenteiden vaikutus julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimukseen. RTC Vahanen Turku Oy:llä on tarve päivittää julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimusraporttien mallipohjia. Tämä työ toimii myös lähtötietopakettina mallipohjien tekemiselle. Työssä käydään läpi perusasioita ja ominaisuuksia erilaisista rapattujen ja betonirakenteisten julkisivujen tyypeistä. Lisäksi omana osanaan ovat betoniset parvekerakenteet. Rapattujen julkisivujen osalta käydään läpi rappaustyypit ja erilaiset rappausalustat ja niiden vaikutus rappausten vaurioitumiseen.</p> <p>Kirjallisuuskatsauksen aluksi pyritään käymään läpi erilaiset julkisivu- ja parvekerakenteet, joiden tutkimiseen tämä opinnäytetyö syventyy myöhemmissä luvuissa. Rakenteiden esittelyn jälkeen esitetään erilaisten vaurioitumismekanismien ja -ilmiöiden vaikutukset mahdollisimman hyvin koottuna jokaiseen tässä työssä käsiteltyyn rakennetyyppiin. Vauriomekanismien jälkeen käydään läpi erilaiset tutkimusmenetelmät ja laboratoriokokeet, joilla vaurioita ja niiden etenemistä voidaan tutkia. Lisäksi käydään läpi kuntotutkimusprojektin yleisimmät päävaiheet.</p> <p>Tulokset-osiossa käydään läpi kirjallisuuskatsauksen pohjalta, miten erilaiset rakenteet vaikuttavat kuntotutkimusprojektiin. Lisäksi esitetään case-esimerkkien avulla, miten erilaiset kuntotutkimusprojektit poikkeavat toisistaan tavoitteiden, tutkimusmenetelmien, sekä lopputulosten osalta.</p> <p>Kuntotutkimuksia varten tarvittavat lähtötiedot ovat hajallaan eri teoksissa ja paljon on edelleen kehitettävänä. Tässä opinnäytetyössä tapahtuu samalla runsaasti kuntotutkimustiedon keräystä yhteen, jolloin työtä voivat hyödyntää myös uraansa aloittelevat kuntotutkijat. Opinnäytetyön luettuaan lukijalla on käsitys yleisimmistä rakennetyypeistä julkisivuissa, miten rakenteiden vaurioituminen tapahtuu, millä menetelmillä vaurioita voidaan tutkia, miten kuntotutkimusprojektin kulku etenee, sekä miten erilaiset rakenteet vaikuttavat kuntotutkimusprojektissa.</p>	
Avainsanat	julkisivu, kuntotutkimus, betoni, rapattu, parveke, betoniyhdistys

Author Title	Tommi Karihtala The Effects of Different Structures in Facade Condition Surveys
Number of Pages Date	65 pages + 2 appendices 29 October 2021
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Construction Engineering
Professional Major	Building renovation
Supervisors	Eveliina Mattila, Regional Manager, Vahanen Pori Tapani Järvenpää, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>This thesis aims to analyse distinct types of structures in condition surveys of facades and balconies. RTC Vahanen Turku LLC needs new document templates for their condition survey reports. This thesis will aid in creating these document templates and have the basics and properties of different plastered and concrete facade types. Furthermore, the different balcony types can be found on both types of facades to be covered. Again, various kinds of plastering and plastering bases are examined and will significantly contribute to the life cycle of the building's facade.</p> <p>At the beginning of the literature review, the goal is to cover distinct types of facades and balconies, as their condition surveys focus on this thesis. After going through the other structures, the next part will go through the mechanics of damaging the structures. The damaging mechanics will differ from design to structure, so they will all be covered individually. The different laboratory and field examination methods are also covered in the next chapter. Finally, the main parts of a condition survey project are presented in the next chapter.</p> <p>The results section will contain how a different structure type will shape the condition survey project and how other structures will be affected by the different deterioration mechanics. I will use case examples to show how different objectives and systems shape the condition survey project and how different the results will be.</p> <p>The instructions and information regarding condition surveys are scattered and found in many different publications. This thesis gathers many conditions surveying information into a single package, so it can also be used as a starting information package for beginning condition survey experts. After reading the thesis, the reader will understand the most common facade and balcony structure types. They will also understand how and why the most common deterioration mechanics work and how they can be examined, how a condition survey project progresses, how different structures affect it, and what results can be obtained.</p>	
Keywords	facade, condition survey, concrete, balcony, plastered

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto ja tutkimuksen tavoite	1
1.1	Tutkimuksen tavoite ja kulku	1
1.2	Tutkimuksen rajaus	2
2	Käsiteltävät rakenteet	3
2.1	Betonijulkisivut	3
2.2	Rapatut julkisivut	4
2.2.1	Levyrappaus	4
2.2.2	Eristerappaus	6
2.2.3	Kovan alustan rappaus	7
2.3	Parvekkeet	9
3	Rakenteiden vauriomekanismit	11
3.1	Yleistä vaurioitumisesta	11
3.2	Kosteusrasitus	12
3.3	Karbonatisoituminen, kloridit ja raudoiteterästen korroosio	15
3.4	Betonin rapautuminen	18
3.4.1	Yleistä	18
3.4.2	Pakkasrapautuminen	20
3.4.3	Alkali-kiviainesreaktio	23
3.4.4	Ettringiittireaktio	25
3.5	Pintatarvikkeiden ja pinnoitteiden vaurioituminen	26
3.6	Rakenteen muodonmuutokset ja halkeilu	28
3.7	Rappausalustan ja -verkkojen vaurioituminen	31
4	Rakenteiden tutkimusmenetelmät	33
4.1	Lähtötietoihin perehtyminen	33
4.2	Aistinvarainen arviointi	34
4.3	Peitekerrosmittaus	34
4.4	Kopo-kartoitus ja vasarointi	35

4.5	Puristuslujuuskoe	36
4.6	Vetokoe	36
4.7	Karbonatsoitumissyvyyden määrittäminen	38
4.8	Kloridien määrittäminen	40
4.9	Ohuthietutkimus	41
4.10	Muut menetelmät	43
5	Kuntotutkimusprojekti	45
5.1	Tarjousvaihe	46
5.2	Esiselvitysvaihe	47
5.3	Kenttätyöt	48
5.4	Näytteenotto ja laboratoriotutkimukset	50
5.5	Raportointivaihe	51
6	Tulokset	53
6.1	Rapatut julkisivut	53
6.1.1	Case-esimerkki 1. Turkulaisen koulurakennuksen rapatun julkisivun kuntotutkimus	55
6.1.2	Case-esimerkki 2. Asuinkerrostalon rapatun julkisivun kuntotutkimus	56
6.2	Betonijulkisivut ja parvekkeet	57
6.2.1	Case-esimerkki 3. Asunto-osakeyhtiökohteen julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus	59
6.2.2	Case-esimerkki 4. Asunto-osakeyhtiökohteen vaurioituneen julkisivuelementin selvitys ja julkisivujen kuntotutkimuksen päivitys	60
7	Yhteenveto	62
	Lähteet	64
	Liitteet	
	Liite 1. By 42 Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus. Tilaajan ohje 2014. Lomakkeet 2 ja 3.	

Lyhenteet ja käsitteet

AKR	Alkali-kiviainesreaktio. Kemiallinen reaktio, jossa kivilajien tietyt mineraalit reagoivat sementtikiven alkali-ioneiden kanssa aiheuttaen halkeilua betonissa. Reaktiotuotteena on havaittavissa halkeamien kohdalla geelimäistä reaktioainesta.
V/S-suhde	Betonin vesi/sementtisuhde.
EPS	Solupolystyreeni. Yleisesti käytetty eriste ulko-olosuhteissa. Tunnetaan myös vanhalla Oy Wiik & Höglund Chemicals Ab:n markkinointinimellä Styrox. EPS-eristeet ovat paisutettua polystyreenia.
XPS	Suulakepuristettu solupolystyreeni. Yleisesti käytetty eriste ulko-olosuhteissa, samoin kuin EPS. Puhekielessä kutsutaan myös Finnfoam-levyksi, tunnetun XPS-eristevalmistajan mukaan.
Kuntotutkimus	Rakennukselle tai rakenneosalle tehtävä perinpohjainen tutkimus, jossa aistinvaraisia havaintoja täydennetään näytteiden ja muiden rakenteita rikkovien menetelmien avulla.
Sandwich-elementti	Yleisnimitys elementtityypille, joissa lämmöneristekerros on jätetty kahden, toisiinsa sidotun betonikuoren väliin.
Suojapeitepaksuus	Betonin uloimpana olevien terästen päällä olevan betonipeitteen paksuus.

1 Johdanto ja tutkimuksen tavoite

Julkisivuja ja parvekkeita tutkitaan tällä hetkellä runsaasti, sillä erityisesti vuosien 1970 ja 1990 välillä on rakennettu valtava määrä rakennuksia Suomen rakennusbuumin aikana. Suuri osa esimerkiksi 1970-luvulla rakennetuista elementtirakennuksista on suunniteltu kestäväksi noin 50 vuotta. Kun rakennuksien elinkaari lähenee loppuaan, on erityisen tärkeää selvittää rakennukseen soveltuvat korjausvaihtoehdot ja tulevien korjausten oikea ajankohta.

Julkisivu- ja parvekerakenteiden tutkimuksessa oleellisena lähtötietona on tutkittavan rakennuksen ja rakenteen tiedot. Vaikka kohteelta olisikin saatu rakennekuvat lähtötiedoiksi, on julkisivujen kuntotutkimuksen teko laajaa asiantuntemusta vaativaa työtä. Erilaisten rakenteiden vaikutus kuntotutkimukseen on suuri ja jokainen tutkimus tulee suunnitella aina erikseen.

Betonirakenteisissa julkisivuissa on vaihtelua esimerkiksi pintatarvikkeissa ja elementtityypeissä. Rapatuissa julkisivuissa on runsaasti eroja riippuen rappausalustasta ja rappaustyypistä. Lisäksi kaikissa julkisivutyypeissä on erityyppisiä parvekerakenteita.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja kulku

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää erilaisten julkisivurakenteiden merkitys kuntotutkimusprojektissa. Tutkimuksen tuloksia käytetään myös RTC Vahnen Turku Oy:n malliraporttipohjien tekemiseen betonirakenteisten ja rapattujen julkisivujen kuntotutkimusten osalta.

Työn aluksi käydään läpi perusteet betonijulkisivuista, parvekerakenteista sekä rapatuista julkisivuista. Perusteiden kautta siirrytään vaurioitumismekanismeihin. Vaurioitumismekanismit käsitellään perusteellisesti ottaen huomioon eri rakennetyyppien erityispiirteet. Vauriomekanismien jälkeen käsitellään kuntotutkimusmenetelmiä ensin betonirakenteiden ja sen jälkeen rapattujen julkisivujen osalta. Seuraavassa luvussa käsitellään kuntotutkimusprojekti peruspiirteittäin ja

analysoidaan kuntotutkimusprojektia rakennetyyppien perusteella. Lopuksi analysoidaan rakennetyyppien vaikutusta kuntotutkimusprojektissa ja tehdään yhteenveto opinnäytetyöstä.

1.2 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksessa keskitytään betonirakenteisiin julkisivuihin, parvekkeisiin ja rapattuihin julkisivupintoihin. Työssä käsitellään betonirakenteisten ja rapattujen julkisivujen yleisluontoiset asiat, yleisimmät rakenteet, vaurioitumismekanismit ja yleisesti käytetyt tutkimusmenetelmät. Kuntotutkimusprojektin vaiheet käydään myös läpi peruspiirteittäin. Lopuksi analysoidaan erilaisten rakenteiden merkitystä kuntotutkimusprojektissa.

2 Käsiteltävät rakenteet

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyöhön sisältyvät rakenteet peruspiirteittäin. Rakenteista ei käydä läpi yksityiskohtaista historiaa, työtapoja, tai suunnitteluun liittyviä yksityiskohtia, vaan esitetään pääasiassa tutkimukseen vaikuttavia tekijöitä ja tärkeimmät ”virstanpylväät” kyseisen rakennetyypin historiassa.

2.1 Betonijulkisivut

Betonijulkisivujen rakenteiden tyypit ovat peruspiirteiltään pysyneet samankaltaisina, huolimatta elementtirakentamisen kehitymisestä. Ulkoseinärakenteet on toteutettu kuorielementtirakenteisena, tai sandwich-elementteinä. Kuorielementit ovat yhdestä betonilevystä muodostuneita elementtejä, joiden toteutunut rakennepaksuus vaihtelee välillä 70...130 mm. Kuorielementtien kiinnitys kantavaan runkoon on toteutettu joko valun aikana, tai jälkikiinnityksin myöhemmässä vaiheessa. Kiinnitykset on tehty 1970-luvun jälkeen yleisesti käyttäen ruostumatonta terästä. ^[1, s.11-12]

Sandwich-rakenteissa rakennuksen ulkokuori on kiinnitetty sisäkuoreen ansaiden, tai erilaisten metallikiinnikkeiden avulla. Rakennepaksuudet saattavat poiketa suunnitelluista merkittävästikin, johtuen eristeiden kokoonpuristumisesta. Sandwich-elementtien ulkokuoren toteutuneet rakennepaksuudet ovat tyypillisesti 65...70 mm. Rakennepaksuuteen vaikuttaa huomattavasti ulkopinnan tyyppi. Kantavien rakenteiden sisäkuoren paksuudet ovat noin 150...160 mm ja ei-kantavissa paksuudet vaihtelevat 70...100 mm välillä. Sandwich-elementtien lämmöneristys on toteutettu lähes aina mineraalivillalla, mutta eristekerroksen paksuus on vaihdellut merkittävästi eri aikakausina. Eristepaksuudet elementtirakentamisen alkuaikoina olivat noin 70...90 mm, kun taas viimeisen 10 vuoden aikana toteutuneet eristepaksuudet ovat noin 240 mm. Betonisandwich-elementeissä ulkokuoren pinta on yleisimmin maalattua tai maalaamatonta betonia. Pinta voi olla hierrettyä, sileää muottipintaa, harjattua, tai esimerkiksi uritettua tai muilla tavoin profiloitua pintaa. 1970-luvulla suosiossa olivat pesubetonipinnat. Pesubetonin kanssa suosioon nousivat tiililaattapintaist julkisivut

1980- ja 1990-luvuilla. Klinkkerilaattapintaisia julkisivuja tehtiin runsaasti 1960-luvulla ja uudelleen 1980-luvulla. 1990-luvulla suosittiin myös hienopestyä pintaa esimerkiksi väri- tai valkobetonista. [1, s.12-13]

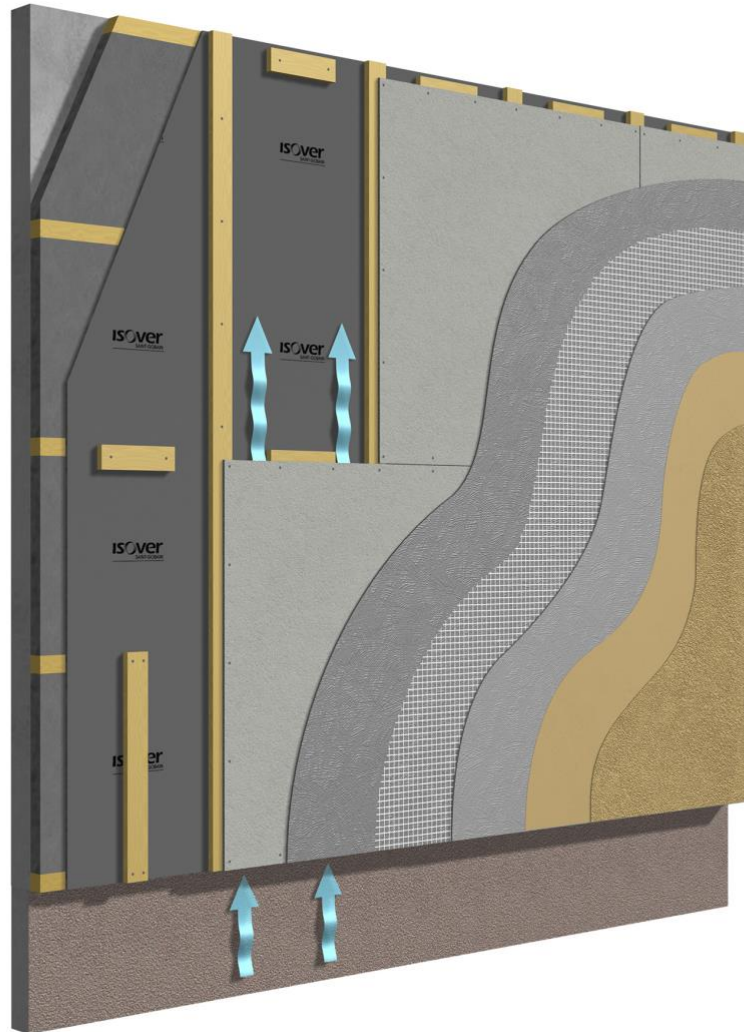
2.2 Rapatut julkisivut

Rapatulla julkisivulla tarkoitetaan rappausalustan päälle tehtyä julkisivupintaa. Rappausalustoja on monia erilaisia, tässä kappaleessa on jaettu rappaukset karkeasti eristerappauksiin, levyrappauksiin ja kovan alustan (esimerkiksi tiili tai kaasubetoniharkko) rappauksiin.

Rappaus tehdään erityisesti sitä varten kehitetyllä laastilla ja rappaustyyppiä on monenlaisia. Rapattujen julkisivujen tekniset ominaisuudet, vauriomekanismit ja tutkimusmenetelmät eroavat merkittävästi betonirakenteiden tutkimisesta.

2.2.1 Levyrappaus

Levyrappauksella tarkoitetaan tuulettuvaa julkisivurappaustyyppiä, joka tehdään rappausalustana toimivan levyn päälle (kuva 1). Rappausalustana toimivan levyn tulee olla säänkestävää ja sen muodonmuutokset kosteuden tai lämpötilanvaihteluista tulee olla mahdollisimman vähäisiä. Levyrappausta voidaan käyttää myös kevyiden, rankarakenteisten seinien julkisivuverhoiluna, sillä levyjen taustalle järjestetään aina yhtenäinen tuuletusrako. Levyrappausta käytetään usein rankarakenteisissa ulkoseinissä ja peittämissä julkisivukorjauksissa. Levyrappauksella voidaan tehdä myös kaarevia rakenteita rappausalustana toimivan levyn ominaisuuksien mukaan. [5, s.153]

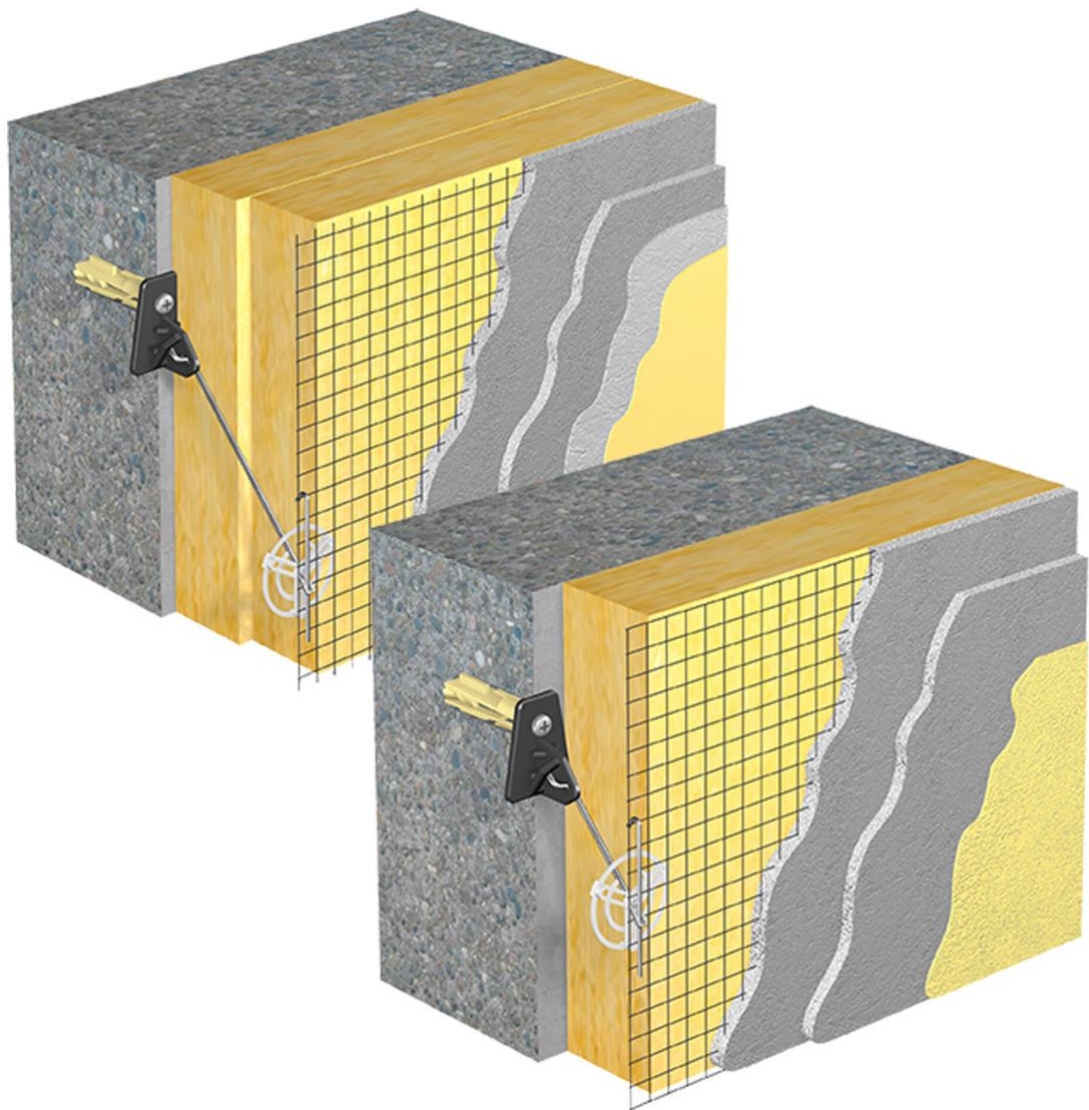


Kuva 1. Periaatekuva levyrappausjärjestelmästä. Kuva: Weber Saint-Gobain Finland Oy. Kuvien tarkat lähteet löytyvät työn lopusta omana Kuvalähteet -osionaan.

Rapattaviin levyjärjestelmiin sisältyvät rappauslevyt, levyjen kiinnikkeet ja levysaumojen käsittelyratkaisut. Levyjen päälle tehtävän ohutrappausjärjestelmän ei tarvitse aina olla samaa järjestelmää levytoimittajan kanssa. Levyrappauksissa tulee kiinnittää erityistä huomiota verhourakenteen vedenpitävyyteen, vuoto- ja kondenssivesien hallintaan, sekä riittävään tuuletukseen. Rankarakenteet voidaan tehdä puu-, alumiini-, tai teräsringasta. Tuuletusraon tulisi olla vähintään 20 mm. Puurankaisissa rakenteissa vaaditaan usein ristiinkoolaus, minkä vuoksi tuuletusrako tulee käytännössä olemaan noin 40 mm. [5, s.153-158]

2.2.2 Eristerappaus

Eristerappauksella tarkoitetaan tuulettumattomia, rappausverkoilla vahvistettuja rapattuja julkisivujärjestelmiä. Eristerappauksessa nimensä mukaisesti rappauksen alustana toimii lämmöneriste (kuva 2). Eristerappaukset voidaan vielä jakaa ohutrappauseristejärjestelmiin ja paksurappauseristejärjestelmiin. Ohutrappauseristejärjestelmissä ohutrappauksen paksuus on useimmiten noin 5...10 mm. Paksurappauseristejärjestelmissä taas paksurappauksen paksuus on noin 20...25 mm. [2, s.2]



Kuva 2. Esimerkkikuva eristerappausjärjestelmästä. Kuva: Weber Saint-Gobain Finland Oy.

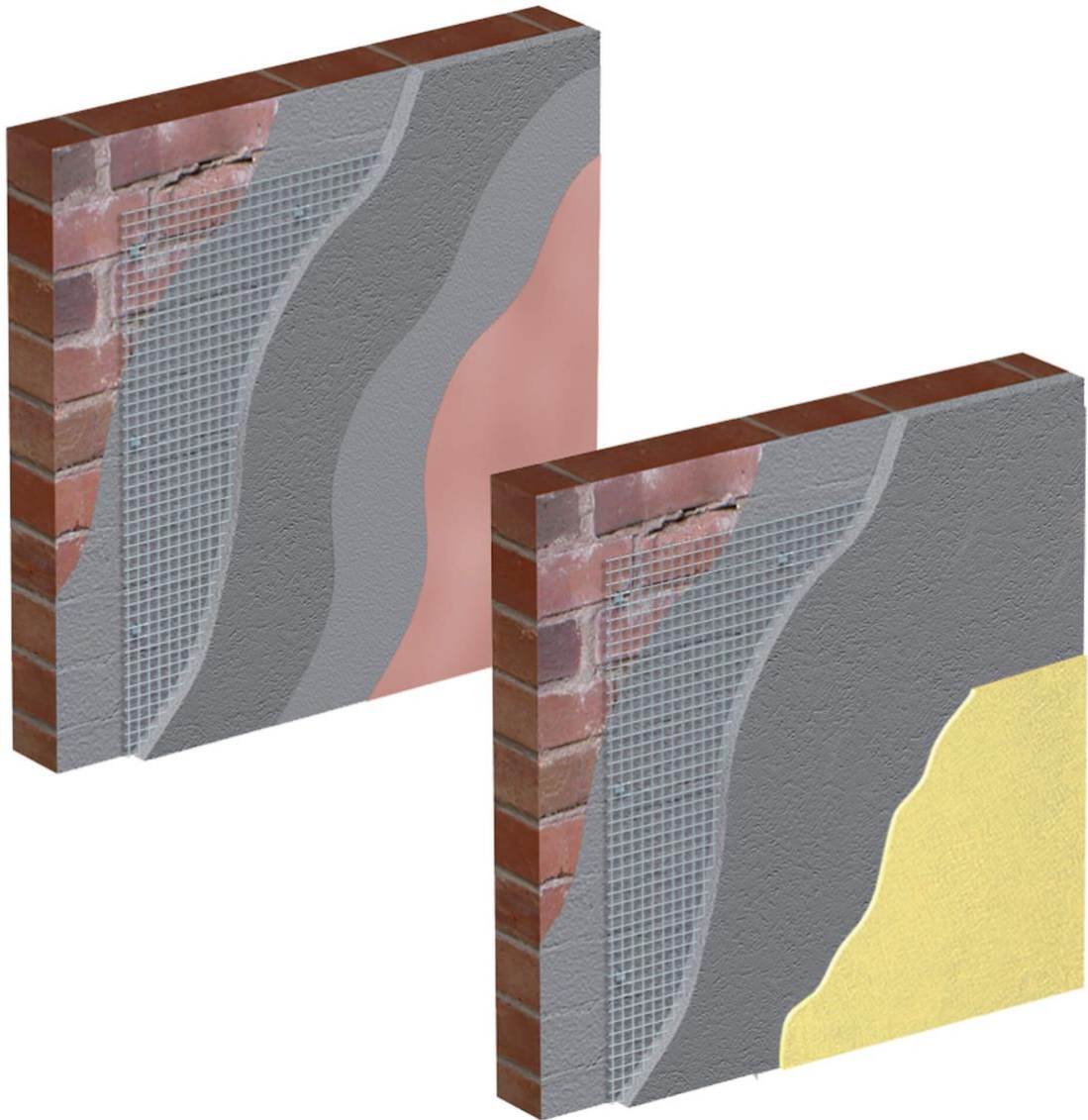
Ohutrappauseristejärjestelmissä rappaus muodostuu pintakäsittelystä ja verkotuslaastista. Verkotuslaastit ovat orgaanisia laasteja, tai sementtilaasteja, jotka sisältävät runsaasti polymeerejä. Polymeerit auttavat verkotuslaastin tärkeimmissä ominaisuuksissa, eli rappausalustan tartunnassa, sitkeydessä ja joustavuudessa. Ohutrappauksen pinnoitteen alla käytetään pohjustetta, jonka tehtävänä on hidastaa kosteuden imeytymistä verkotuslaastiin. Ohutrappauksen pintakäsittelynä on usein pinnoite. Uudemmissa järjestelmissä pinnoitteet ovat usein keinoharts-, tai silikonipinnoitteita. Aiemmissa järjestelmissä on käytetty myös polymeerimodifioituja sementtilaasteja. [2, s. 2]

Paksurappauseristejärjestelmissä rappaus koostuu kolmesta kerroksesta: pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta. Lisäksi on mahdollinen pintakäsittely. Jos paksurappauksessa ei käytetä pintakäsittelyä, tehdään pintarappaus jalolaastilla. Pinta on saatettu käsitellä myös silikaatti-, kalkkisementti-, kalkki-, tai silikonihartsimaalilla. Uudemmissa järjestelmissä on käytetty myös silikonihartsipinnoitetta. [2, s. 2]

Ohutrappauseristejärjestelmissä rappausalustana toimii yleensä mineraalivilla, tai EPS-eriste. Myös muita solumuovilämmöneristeitä, kuten XPS, on käytetty. Paksurappauseristejärjestelmissä rappausalustana toimii aina levyäinen mineraalivilla, koska rappausalustan tulee sallia rappauksen liikkeet. [2, s. 4]

2.2.3 Kovan alustan rappaus

Kovalle alustalle tehdyllä rappauksella tarkoitetaan erilaisten rappausyyppien tekoa ns. kovalle alustalle, joita voivat olla poltettu tiili, kalkkiahkivi, kevytsoraharkko, kevytbetoniharkko, betoni, tai betoniharkko (kuva 3). Kovalle alustalle tehtävät rappaukset voidaan jakaa karkeasti yksi-, kaksi- ja kolmikerrosrappauksiin. [4, s.15-16]



Kuva 3. Esimerkkikuva tiilimuurin pintaan tehtävästä kolmikerrosrappauksesta. Kuva: Weber Saint-Gobain Finland Oy

Kovalta rappausalustalta edellytetään soveltuvuutta käytettävään rappaustyyppiin. Alustan vedenimukyvyyn ja -nopeuden, tartuntaominaisuuksien ja pinnan karkeuden tulee sopia rappauksen kanssa yhteen. Alustan muodonmuutoksien tulee olla tarpeeksi pieniä rappauspinnan muodonmuutosominaisuuksiin verrattuna ja alustan halkeilu tulee estää rakenteellisin keinoin. Rappauksissa ja alustoissa tulee minimoida erot lämpöliikkeissä. Rappauskerrosten tulee aina harventua pintaa kohti, eli syvemmät rappauskerrokset ovat lujempia ja kerrosten lujuus alenee pintaa kohti mennessä. [4, s.16-17]

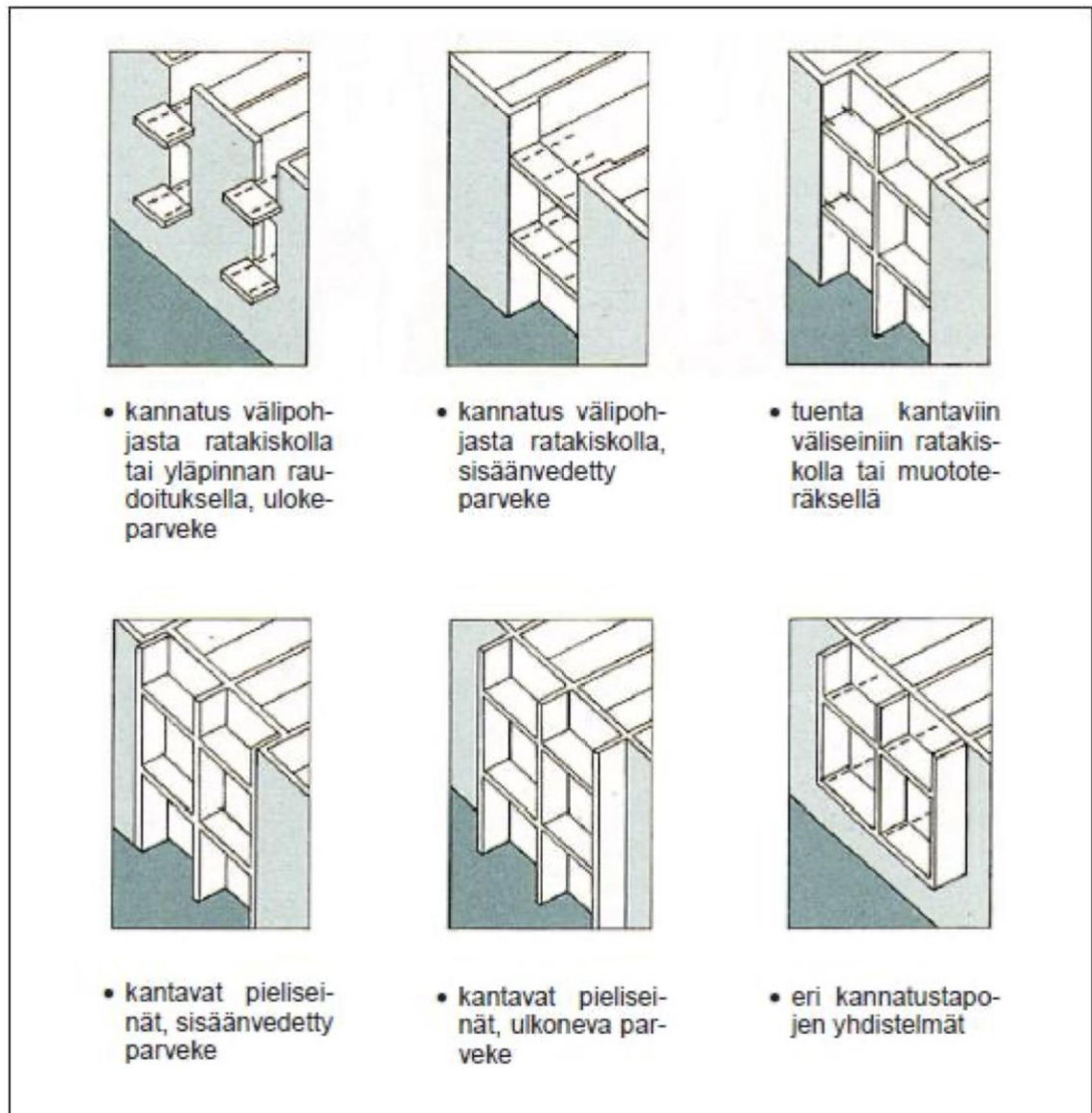
2.3 Parvekkeet

Yleisimmät parveketyypit ovat ulokerakenteena toteutettuja, rakennuksen runkoon tukeutuvia parvekkeita, tai rungon ulkopuolisia parveketorneja, jotka ovat itsekantavia. Myös niin sanottuja konttiparvekkeita on tehty, jotka on kannatettu erilaisten ripustuksien avulla. [1, s. 13]

Ulokeparvekkeet voivat olla joko sisäänvedettyjä tai rungosta ulkonevia. Ulokeparvekkeiden kannatus on yleensä toteutettu paikallavalettuun välipohjalaataan tukeutuvien muototeräs-, tai rataakiskojen varaan. Ulokeparvekkeiden laatat ovat usein myös paikallavalettuja. Usein parvekelaatat on tehty samasta betonista kuin rakennuksen rungon valu. Ulokeparvekkeiden laatoissa on usein vedeneristyksenä bitumikermi tai -sively. Vedeneristeen päälle on tehty erillinen pintalaatta. Vanhojen ulokerakenteiden kaiteet ovat yleisimmin teräs- tai betonirakenteisia. [1, s. 13]

Elementtiparvekkeet voidaan jakaa sisään- ja ulosvedettyihin elementtiparvekkeisiin. Sisäänvedetyt elementtiparvekkeet on usein tuettu kantaviin väliseiniin muototerästen tai rataakiskojen avulla. Sisäänvedetyt elementtituuletusparvekkeet on voitu myös tukea esimerkiksi muototeräsulokeilla porrashuoneen laattaan. [1, s. 14]

Rungosta ulosvedetyt parvekkeet on yleensä tuettu kantavien pieliseinien tai pilarien avulla perustuksilleen. Myös rungosta kannateltuja, ulkonevia parveke-elementtejä on tehty (parvekkeiden tuentatapoja esitetty kuvassa 4). Tällöin laatat on yleensä tuettu pieliseiniin. Elementtiparvekkeet voivat olla erillisiä kaide- ja laattaelementtejä, tai kaide ja laatta on voitu valaa yhteen. [1, s. 14]



Kuva 4. Parvekkeiden tuentatapoja esitetty kuvien avulla. Kuva: RT 86-10563 s. 2.

Parvekelaattojen vedenpoistoa varten tehdyt kallistukset aiheuttavat vaihtelua rakennepaksuuksissa. Tyypillisesti rakennepaksuudet vaihtelevat välillä 140...200 mm. Pielielementtien osalta rakennepaksuudet ovat selkeästi tasaisempia. Yleensä pielielementtien rakennepaksuudet ovat välillä 150...160 mm. Kaidarakenteissa rakennepaksuudet ovat yleensä 50...100 mm. Kaidarakenteissa on usein sisä- ja ulkopinnan rauditus, joka johtaa ongelmaan, ettei tarvittavaa suojabetonipeitepaksuutta voida saavuttaa edes teoreettisesti. [1, s. 14]

3 Rakenteiden vauriomekanismit

Tässä kappaleessa käsitellään erilaisten ilmiöiden vaikutusta betonirakenteisten julkisivujen, parvekkeiden, sekä rapattujen julkisivujen vaurioitumiseen. Vauriomekanismeja on rajattu niin, että ne kattavat edellä mainittujen rakenteiden pääasialliset vaurioitumistavat. Tämän vuoksi esimerkiksi sulfaattikorroosiota ei ole käsitelty, sillä julkisivurakenteissa ei juuri ole sulfaattirasitusta.

3.1 Yleistä vaurioitumisesta

Rakenteissa esiintyvät vauriot aiheuttavat muutoksia rakenteiden ominaisuuksiin. Julkisivu- ja parvekerakenteisiin kohdistuvia tyypillisiä rasiustekijöitä ovat esimerkiksi lämpö, säteily, kosteus, tuuli, pakkasrasitus, kloridit ja ilman hiilidioksidi. Rasiustaso vaihtelee merkittävästi riippuen ympäristötekijöistä, rakennuksen sijainnista ja korkeudesta, sekä esimerkiksi rakenneliittymien yksityiskohdista. [1, s. 15]

Merkittävimmät turmeltumisilmiöt suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa ovat betonin pakkasrapautuminen, sekä karbonatisoitumisen ja liian pienten suojabetonipeitteiden yhteisvaikutuksesta johtuva betoniterästen korroosiovaurioituminen. Muita merkittäviä vauriotapoja on muun muassa kiinnikkeiden ja kannatusten vauriot, kosteustekniset ongelmat, pintakäsittelyn ja -tarvikkeiden vauriot, betoniterästen kloridikorroosio, rakenteiden muodonmuutokset ja alkali-kiviainesreaktion aiheuttama betonin rapautuminen. [1, s. 15]

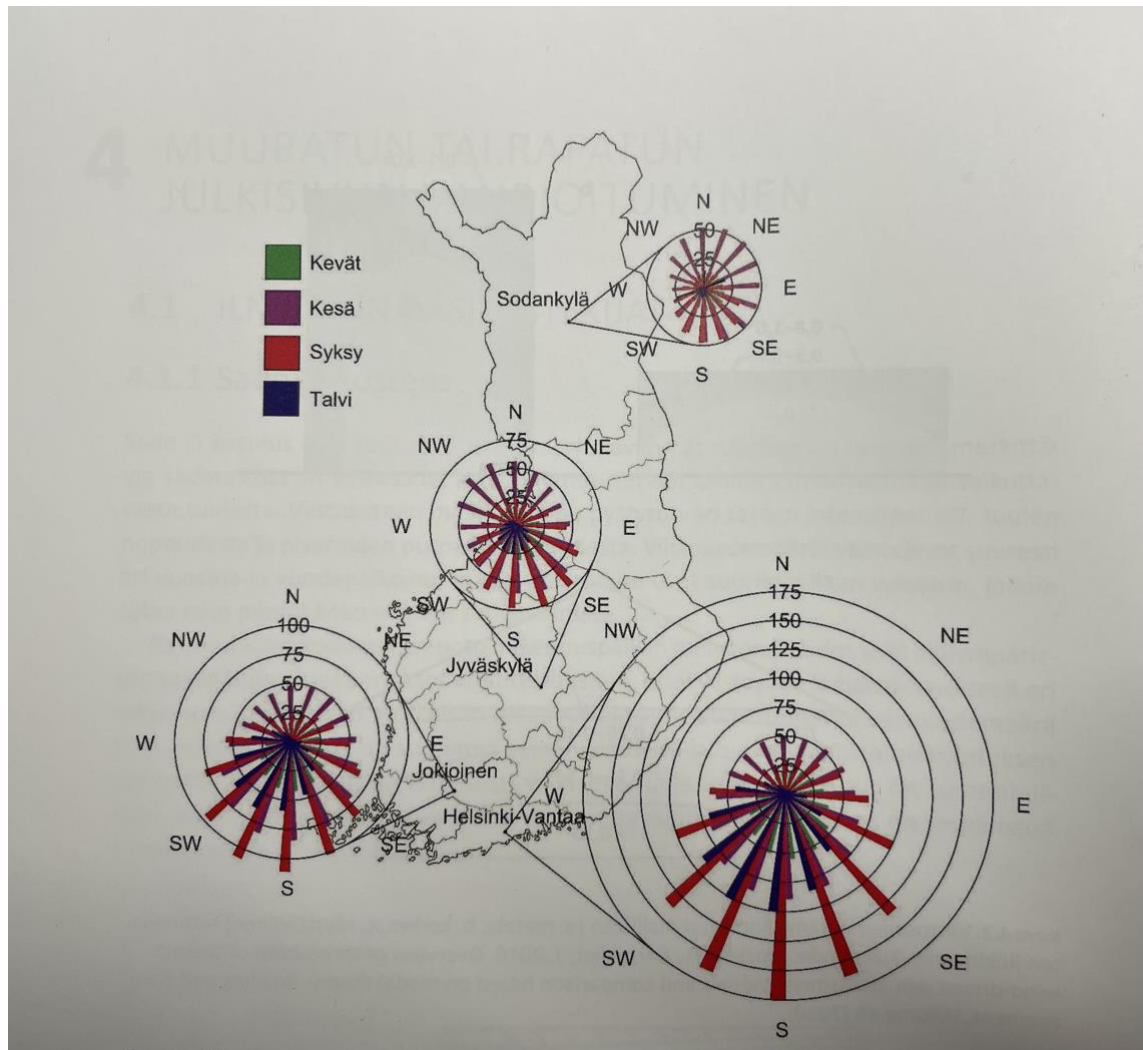
Eristerappausjärjestelmissä merkittävimmät vaurioitumismekanismit ovat erilaisista syistä tapahtuvat rappauksen halkeilut, rappauslaastin pakkasrapautuminen, kosteustekniset toimivuuspuutteet, sekä pinnoitteen ja rappauslaastin kerrosten välisten tartuntojen vauriot. Muita vaurioitumistapoja tai esteettisiä haittoja ovat epäorgaanisten laastien härmistyminen, pintakäsittelyvauriot, eloperäiset kasvustot julkisivupinnalla ja työvirheistä johtuvat esteettiset haitat. Myös rappausalustan lämmöneristeet ja rappausverkot voivat vaurioitua. [2, s.10]

Rapatuissa julkisivuissa vaurioituminen voi ilmetä pelkästään pintakäsittelyssä tai pintarappauksessa, tai ne voivat ilmetä täyttörappauksessa ja joissain tapauksissa

rappausalustassa asti. Rapattujen julkisivujen vauriot ilmenevät useimmiten maali- ja rappauskerroksen värivirheinä, laastin rapautumisena, maalin hilseilynä, alustan ja rappauslaastin halkeiluna, rappauksen lohkeiluna, rappausalustan vaurioitumisena, sekä alustan ja laastin välisenä tartunnan pettämisenä. [3, s. 18]

3.2 Kosteusrasitus

Eri muodoissa ilmenevä kosteusrasitus on yksittäinen suurin rakenteiden rasitustekijä. Kosteus on osana melkein kaikissa merkittävässä ja yleisimmin esiintyvissä turmeltumisilmiöissä. Julkisivujen saderasituksen tasoon vaikuttaa merkittävästi sateen määrä ja suunta (kuva 5, s.13). Rannikkoalueilla sademäärät ja tuulennopeudet ovat suurempia, kuin sisämaassa. Suomessa viistosateet tulevat aina kaakon ja lännen suunnalta, minkä vuoksi länsi- ja eteläsiivuilla havaitaan usein valtaosa julkisivujen vaurioista. Lisäksi metsän läheisyys, ympäröivien rakennusten suojaava vaikutus ja muu paikallinen ominaisuus vaikuttaa vaurioitumisen todennäköisyyteen ja tapaan. Sateen aikana betonijulkisivun pinnalle muodostuu vesikalvo, joka tunkeutuu avoimista rakenneliitoksista, kuten revenneistä elementtisaumoista varsin nopeasti eristetilaan. Eristetilat ovat olleet tuulettamattomia ennen 1990-lukua, jolloin eristetilan kuivuminen on tapahtunut lähinnä ulkokuoren ulkopinnasta haihtumalla. Mahdolliset pintakäsittelyt, kuten tiili- ja klinkkerilaatat vaikuttavat osaltaan kuivumisnopeuteen. [1, s.16]



Kuva 5. Viistosaderasitukset esitettynä alueittain, vuodenajoittain ja ilmansuunnittain. Kuva: By75 Muurattujen ja rapattujen julkisivujen kuntotutkimus 2021.

Parvekelaattojen yläpinnat ovat usein alttiina lumelle ja sadevedelle. Lisäksi piellelementit ja kaidarakenteet ovat alttiina viistosateille. Laatan vedenpoisto ja pinnoitteen kunto vaikuttavat merkittävästi laatan kestävyytteen kosteusrasitusta vastaan. Parvekerakenne on kokonaan kylmä, jolloin sisältä tuleva lämpövirta ei pääse kuivattamaan rakenteita, niin kuin ulkoseinissä. [1, s.16–17]

Ennen 2000-lukua rakennetuissa julkisivuelementeissä ei tyypillisesti ole lainkaan tuuletusta eristetilassa, tai tuulettavuus on yritetty saada aikaan uritetun lämmöneristekerroksen avulla. Urituksen toimivuutta tuuletustarkoituksessa ei läheskään aina ole pystytty varmistamaan ja yleisesti tämän ajan rakenteiden

tuulettuvuutta on pidetty huonona. Tuulettuvuuden vajaavaisuus voidaan todeta myös ulkokuoren sisäpinnan betonin vähäisestä karbonatisoitumisesta. [1, s.12]

Rapatuissa julkisivuissa kosteus toimii monen näkyvän vaurion aiheuttajana. Kosteusrasitus liuottaa rappauksen ainesosia ja saattaa aiheuttaa alustan ja rappauksen aineiden kulkeutumisen pinnoitekerroksen alle. Lisäksi kosteuden aiheuttamien alustan ja rappauksen muodonmuutokset saattavat aiheuttaa rappauksen tartuntavaurioita. Kohonnut kosteusrasitus lisää pakkasrapautuman todennäköisyyttä. Pitkään jatkunut kosteusrasitus saattaa lisäksi aiheuttaa suolojen kiteytymistä maalipinnan alle. Suolojen kiteytyminen maalipinnan alla aiheuttaa alustan ja rappauksen suolarapautumista. [3, s.20]

Useimpiin julkisivujen ja parvekkeiden osiin liittyy erilaisia rakenteita tai kerroksia, joiden tehtävänä on hallita kosteuden kulkua, eli kastumista tai kuivumista. Tämänkaltaisiin osiin lukeutuvat

- rakenteiden tuulettuvuuteen ja eristetilän vedenpoistoon liittyvät rakenteet
- elementtien väliset erilaiset saumat (esim. parveke-elementtien laastisaumat, julkisivusaumat ja ikkunaliitokset) ja liitokset muihin rakenteisiin
- pellitykset
- räystäsrakenteet
- betonipintojen pinnoitus- ja maalauskäsittelyt
- parvekkeiden lasitukset ja vedenpoistot [1, s.32]

Edellä mainittujen osien toimivuudella ja kunnolla on merkittävä vaikutus rakenteiden kosteusrasitustasoon ja kuivumismahdollisuuksiin. Tyypillisimpiä esimerkkejä kosteusteknisistä toimivuuspuutteista on elementtisaumojen, ikkunoiden ja räystäiden pellityksen, parveke- ja ikkunaliitosten ja sokkeliliitosten sadevedenpitävyyden ongelmat, betonin pintakäsittelyn epäjatkuvuuskohdat, sekä eristetilän puutteet tuulettuvuuden ja sadevedenpoiston osalta. Parvekerakenteissa tärkeimpiin kosteusteknisiin

yksityiskohtiin kuuluvat Ilaatan vedeneristys ja sen liitos ympäröiviin rakenteisiin, parvekelaatan kallistukset, parvekelaatan vedenpoiston toteutus, pellitysten toimivuus ja erilaiset laastisaumat. [1, s.32-33]

3.3 Karbonatisoituminen, kloridit ja raudoiteterästen korroosio

Betoniteräokset ovat normaalisti hyvin suojattuna korroosioaurioitumista vastaan. Betonin korkeasta alkalisuudesta johtuen raudoiteteräksien pinnalle muodostuu oksidikalvo, mikä käytännössä estää sähkökemiallisen korroosion. Raudoitteiden korroosioaurioituminen voi alkaa, kun betoni neutralisoituu karbonatisoitumisen edetessä ja rikkoo terästä suojaavan oksidikalvon. Myös betonin sisältämien kloridien esiintyminen voi ruostuttaa teräksiä, tosin tämä on asuntorakentamisessa harvinaista. Karbonatisoituminen muodostuu nopeasti ongelmaksi esimerkiksi klinkkerilaattapintaisissa elementeissä, kun raudoitteet ovat hyvin lähellä pintatarvikkeita. Ruostuessaan betoniteräokset kasvattavat tilavuuttaan merkittävästi ja aiheuttavat pintabetonin lohkeilua ja halkeilua (kuva 6, s.16), sekä mahdollisen pintatarvikkeen irtoamista. [1, s.17]



Kuva 6. Ruostunut betoniteräs on lohkaissut betonin pinnan. Kuvassa havaittavissa myös selvästi riittämätön betonin suojapeitepaksuus. Kuva: Betoni.com

Karbonatisoitumisella tarkoitetaan betonin niin kutsuttua neutraloitumisreaktiota, joka aiheuttaa betonin huokosissa olevan huokosveden pH-arvon laskua. Reaktion aiheuttajana toimii ilmassa oleva hiilidioksidi, joka tunkeutuu betoniin. Karbonatisoituminen etenee betonissa yleensä tasaisena rintamana, tosin betonin kutistumasäröily ja pakkashalkeilu mahdollistaa karbonatisoitumisen etenemisen paikallisesti syvemmälle betoniin. Karbonatisoitumisnopeus riippuu paljon betonin huokosrakenteesta ja kosteuspitoisuudesta. Betonin tiivyyteen ja huokosrakenteeseen vaikuttaa erityisesti betonin vesi-sementtisuhde ja hydratoitumisaste. Kun huokosverkosto täyttyy vedellä, hidastaa se karbonatisoitumista merkittävästi. Toisessa ääripäässä karbonatisoituminen pysähtyy täysin, jos suhteellinen kosteus alittaa 30% RH-tason, sillä reaktio voi tapahtua vain vesiliuoksessa. [1, s.18-19]

Kun betonin kloridipitoisuus ylittää ns. kriittisen kloridipitoisuuden rajan, voi betonissa käynnistyä terästen korroosio myös sellaisessa betonissa, jossa

karbonatisoitumisvyöhyke ei vielä ole saavuttanut betoniteräksiä. Eri lähteiden mukaan kriittinen kloridipitoisuus betonissa on noin 0,03...0,07 painoprosenttia kloridipitoisuutta betonin painosta. Betonin korkea kosteusrasitus aiheuttaa korroosiovaurioitumista jo 0,03 painoprosentin kloridipitoisuudella. Kalsiumkloridia on käytetty joskus kiihdyttävänä aineena betonijulkisivu- ja parveke-elementtien valmistuksessa. Käytetyt määrät ovat yleensä moninkertaisia betoniterästen korroosion kynnyksarvoihin nähden. Klorideja pääsee betoniin myös tuulen kuljettaman meriveden kautta rannikkoalueilla, sekä jäänsulatussuolojen kulkeutumisen avulla. [1, s.21]

Kloridikorroosiolle ominaista on, että betoniterästen korroosiovaurioituminen tapahtuu pistemäisesti ja erityisen voimakkaana. Kloridikorroosion reaktiotuotteet liukenevat helpommin huokosveteen kuin karbonatisoitumisen aiheuttamassa korroosiossa, minkä vuoksi kloridikorroosio saattaa edetä hyvinkin pitkälle ennen pintapuolisten vaurioiden syntymistä. Karbonatisoituminen kiihdyttää kloridikorroosiota, koska karbonatisoituminen vapauttaa sementtikiveen sitoutuneita klorideja huokosveteen. [1, s.21]

Klorideja voi olla betonissa myös tekovaiheessa, mikäli betonin valmistusvaiheessa on käytetty merivettä. Meriveden sisältämät kloridit aiheuttavat samankaltaista betoniterästen korroosiovaurioitumista, kuin ulkopuolelta betoniin imeytyvät kloridit.

Korroosion nopeuteen kloridipitoisessa ja/tai karbonisoituneessa betonissa vaikuttaa erityisesti huokosverkoston kosteuspitoisuus, kloridien määrä betonissa, betonin tiiviys, rakenteen lämpötila ja betonin suojapeitteen paksuus. Korroosiovaurioituminen on nopeampaa lämpimässä betonissa. Kun betonin suhteellinen kosteus ylittää 65...70%:n raja-arvon, voidaan katsoa teräskorroosion alkavan. Merkittävästi korroosionopeus kasvaa, kun betonin suhteellinen kosteus ylittää 80...85%:n suhteellisen kosteuden tason. [1, s.22]

Julkisivupinnoilla terästen korroosiovaurioituminen saattaa edetessään lohkaista betonipinnasta kappaleita. Yleisesti pienimmät peitepaksuudet ovat klinkkeri-, ja tiililaattapintaisissa julkisivuissa, joissa raudoiteteräkset ovat usein heti pintatarvikkeen alla. Kerroksellisissa ulkokuorissa, kuten esimerkiksi pesubetonijulkisivuissa, saattaa betonikerrosten rajapinnassa sijaitseva raudoiteverkko ruostuessaan aiheuttaa

ulomman betonikerroksen irtoamisen. Pintatarvikkeiden, tai betonikappaleiden putoaminen aiheuttaa riskejä ohi kulkeville ihmisille tai esimerkiksi pihalla oleville autoille. [1, s. 23]

Parvekerakenteissa ongelmakohdiksi muodostuvat usein kaiteet ja pieliseinät. Niissä betonin suojapeitepaksuudet ovat usein liian pieniä, mikä johtaa raudoiteterästen korroosioaurioitumiseen. Vauriot näissä rakenteissa ovat usein kuitenkin esteettisiä. Parvekelaattojen alapinnasta lohkeavat betonikappaleet saattavat aiheuttaa turvallisuusriskin. Parvekkeissa aktiivinen korrosio on yleensä suurinta vedeneristämättömissä parvekelaatoissa, puutteellisten vedenpoistojen lähetyvillä ja kosteutta keräävissä liitosrakenteissa. Laattojen alapintojen korroosioaurioriski kasvaa erityisesti niissä tapauksissa, kun laatan vedenpoisto on toteutettu laatan ja kaiteen välisellä raolla. Kermieristetyissä parvekelaatoissa, missä pintalaatan pintaan on tehty vedeneristys, nopeuttaa myös laatan alapinnan vaurioitumista. Laattojen alapinnan tippaura vähentää korroosion laajuutta. [1, s. 23-24]

Rappauslaastin tapauksessa karbonatisoituminen on usein nopeaa ohuiden rakennekerrosten ja laastin huokoisuuden vuoksi. Siksi rappausverkoissa ei voida luottaa rappauslaastin korkean alkalisuuden luomaan turvaan korroosioaurioitumista vastaan ja verkkojen tulee olla sinkittyjä. [6, s.66]

3.4 Betonin rapautuminen

Tähän kappaleeseen on kerätty erilaiset betonin rapautumisilmiöt. Betonin rapautumisilmiöihin kuuluu pakkasrapautuminen, alkali-kiviainesreaktio (AKR) ja ettringiittireaktio. Eri rapautumisilmiöillä on omat vaatimuksensa ja syntymämekanisminsa.

3.4.1 Yleistä

Pakkasrapautuminen on yksittäinen merkittävin rapautumisilmiö Suomen olosuhteissa sijaitsevissa betonirakenteissa. Eri rapautumisilmiöiden näkyvät vauriot ovat varsin samankaltaisia, minkä vuoksi rapautumisen syytä on hankala saada varmasti selvitettyä

aistinvaraisella tutkimuksella. Jokaista rapautumisilmiötä yhdistää tarve suurelle kosteusrasitukselle. Rapautumisilmiöt ovat luonteeltaan kiihtyviä. Toimenpiteillä voidaan hidastaa, tai jossain tapauksissa pysäyttää rapautuminen. [1, s. 24]

Ulkoseinärakenteissa betonin rapautuminen saattaa aiheuttaa rakenteellisia ongelmia, esimerkiksi elementtien raudoitteiden ankkuroinnissa, tai ulkokuorissa, joiden rakenteet ovat kerroksellisia. Ulkokuoret eivät toimi kantavina rakenteina, mutta saattavat toimia sisäkuorta jäykistävänä tekijänä. Kerroksellisissa rakenteissa, esimerkiksi pesubetonipintaisissa elementeissä muodostuu riski, mikäli taustabetoni rapautuu tarpeeksi pitkälle. Tällöin ulomman rakennekerroksen kiinnipysyvyys saattaa vaarantua. [1, s.30-31]

Parvekerakenteissa rapautuminen on yleisintä matalalujuuksisessa (lujuus < K25 (C20/25)) betonissa. Yleisimmin vaurioituvia osia ovat pieliementit ja kaiderakenteet. Pilarirakenteissa todetaan myös usein rapautumavaurioita. Yhdistävä tekijä vaurioaltille kohdille on kohonnut kosteusrasitus. Pielielementtien rapautuminen heikentää edetessään koko parvekerakenteen kantavuutta. Ohuet pilarit ovat rapautumisen suhteen herkempiä, sillä rapautuminen ulottuu helposti koko rakenteen poikkileikkauksen läpi. Parvekekaiteissa pidemmälle edennyt rapautuminen saattaa heikentää kaiteen kiinnitystä joissain tapauksissa, esimerkiksi kiinnitysosien ankkuroinnin heikkenemisen vuoksi. Lisäksi rapautuminen kiihdyttää korroosioaurioitumista, mikä edesauttaa kaiderakenteen toiminnan heikkenemistä entisestään. [1, s.31]

Rappauslaasteissa pakkasrapautuminen on selkeästi yleisin rapautumamekanismi. Rappauslaasteissa voi kuitenkin esiintyä myös kemiallista rapautumista, kun epäorgaaninen laasti rapautuu ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta. Sementti- ja kalkkilaastien sisältämä kalsiumkarbonaatti saattaa reagoida ilman rikkidioksidin tai rikkihapon kanssa. Reaktiotuotteena on kalsiumsulfaattihydraattia, eli kipsiä, jonka tilavuus on kalsiumkarbonaattia suurempaa ja täten aiheuttaa laastin rapautumaa tilavuudenkasvun kautta. Toinen harvinaisempi rapautumamekanismi on suolojen kiteytyminen rappauslaastiin. Kiteytymispaine aiheuttaa pakkovoimia laastin sisällä, joka kasvaessaan ylittää laastin vetolujuuden. [2, s.23]

3.4.2 Pakkasrapautuminen

Pakkasrasituksen aiheuttamat vauriot (kuva 7) johtuvat betonin huokosverkostossa olevan veden jäätymisvaiheessa tapahtuvan tilavuuden noususta. Vesi kasvattaa tilavuuttaan noin 9 prosenttia jäätyessään. Betonin suojahuokostus antaa vedelle mahdollisuuden tunkeutua suojahuokosiin, kun jäätymislaajeneman aiheuttama paine kasvaa liian suureksi. Suojahuokostuksen toimivuus riippuu suojahuokosten välisestä välimatkasta sekä suojahuokosten määrästä. Pakkaskestävyyden kannalta tarpeeksi tiheä suojahuokostus saavutetaan lisähuokostusaineen avulla. Noin 10 µm suurempia huokosia voidaan pitää pakkaskestävyyden kannalta merkittävänä. Keskimäärin suojahuokosten halkaisijat ovat välillä 150...300 µm. [1, s. 25]



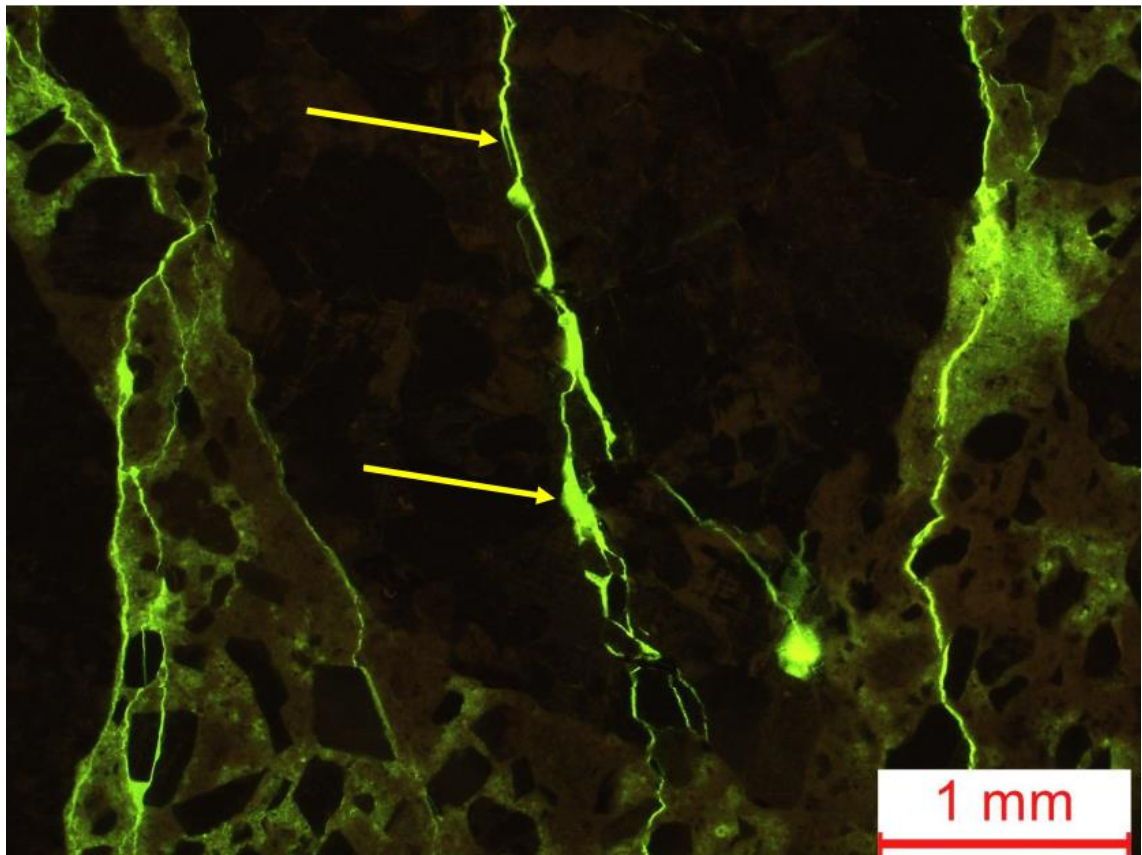
Kuva 7. Näkyvää pakkashalkeilua parvekkeen pieliseinässä. Kuva: Tommi Karihtala

Betonin ilmamäärä ei kerro suoraan betonin pakkaskestävyydestä. Tavoitteena on tuottaa runsaasti pieniä ilmahuokosia muutaman ison sijasta. Julkisivu- ja parvekerakenteiden suojahuokostusvaatimus lisättiin betoninormeihin vuonna 1976.

Käytännössä voidaan todeta, että ennen vuotta 1980 rakennetuissa betonirakenteissa suojahuokostus on puutteellista. Yleisesti todettuna suojahuokostus on epäonnistunut ainakin parvekepielissä ja pesubetoni-, sekä klinkkerilaattapintaisissa julkisivuissa. Vanhoissa suojahuokostamattomissa betonirakenteissa ei silti välttämättä ole tapahtunut pakkasrapautumista, mikäli betoni on tarpeeksi tiivistä ja kosteusrasitus on ollut riittävän alhainen. Suojahuokostamattomassa betonissa on kuitenkin mahdollista, että pakkasrapautuminen alkaa suhteellisen pienessäkin kosteusrasituksessa. [1, s. 26]

Lisähuokostuksen kanssa betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttaa betonin tiivys. Alhaisen v/s -suhteen betoni (käytännössä korkealujuuksinen betoni) pienentää rakenteen vedenimukykyä ja -nopeutta ja sitä kautta betonissa olevan, mahdollisesti jäätyvän veden määrää. Betonin vaurioiden syntymiseen vaikuttaa betonin laadun ohella rasitusolosuhteet ja rasitusyökkien määrä. Etelä-Suomessa ja rannikkoalueella pakkasrasitusolosuhteet ovat merkittävästi sisämaan ja Pohjois-Suomen olosuhteita ankarammat, johtuen korkeammasta sademäärästä. [1, s. 27]

Pakkasvaurioituminen voidaan havaita betonin pakkashalkeiluna tai -säröilynä ohutietutkimuksissa (kuva 8, s.22). Säröily heikentää betonin lujuusominaisuuksia ja nopeuttaa veden imeytymistä betoniin. Pitkäkestoinen rasitus johtaa betonin rapautumiseen. Rapautuminen heikentää betonin veto- ja puristuslujuutta ja aiheuttaa raudoituksen tartunnan heikentymistä ja täten saattaa aiheuttaa turvallisuusriskejä. Pitkälle edennyt pakkasrapautuminen voidaan havaita aistinvaraisesti elementtien kaareutumisena, rakenteen pinnan halkeiluna ja lopulta betonin pinnan lohkeiluna. Pakkasrapautumisen havaitseminen riittävän ajoissa on tärkeää, jotta rasitusta alentavat toimenpiteet osataan ajoittaa oikein. [1, s. 27]



Kuva 8. Ohuthieanalyysissä havaittua pakkashalkeilua betonissa. Kuvan mustat kohdat ovat betonin runkoainerakeita, keltaisilla nuolilla osoitettu kiviaineksen halkaiseva pakkashalkeama. Kuva: Vahanen Rakennusfysiikka Oy

Pakkasrasitus aiheuttaa rappauslaastiin pakkasrapautumista samoin, kuin betonirakenteisiin. Vesi tunkeutuu ensin isompiin suojahuokosiin ja sieltä edelleen pienempiin. Puutteellinen huokosjako tai liian suuri veden määrä huokosissa lämpötilan muutosnopeuteen nähden altistaa rappauksen vaurioitumiselle. Rappauslaastin pakkasrapautuminen tapahtuu, kun laastiin kohdistuvat vetojännitykset ylittävät rappauksen vetolujuuden. Rappauslaastin tyyppi vaikuttaa rappausvaurioiden esiintymiseen; esimerkiksi sementtipitoiset laastit ovat herkempiä pakkasvaurioitumiselle. Myös laastikerroksen paksuus ja alustan vedenimukyky vaikuttaa rapautumisriskiin. Rappauslaastin sisältämät suolat alentavat rappauksessa olevan veden jäätymispistettä. [2, s.21-23]

Pakkasrapautuminen heikentää merkittävästi laastien lujuutta. Alkuvaiheen pakkasrapautumista ei voi havaita ulkoapäin aistinvaraisesti, mutta ohuthietutkimuksella

voidaan todeta alkanut rapautuma. Pitkälle etenevä pakkasrapautuminen aiheuttaa turvallisuusriskejä, sillä se ilmenee laastikerrosten ja pinnoitteen irtoamisena, rakenteen halkeiluna ja laastin irtoamisena alustastaan ja/tai rappausverkosta. Julkisivun yläosien pakkasrapautumisriskiä kohottaa suuri viistosaderasitus, ja julkisivun alaosien altistavana tekijänä on eristetilaan pääsevä sadevesi, joka valuu alaspäin ja kerääntyy sokkeliprofiilin tai -pellin päälle. Erityishuomiota tulee kiinnittää laastin tuoreena tapahtuvaan jäätymiseen, joka on erityisen haitallista lujuuden kehitykselle. Varhaisvaiheen jäätyminen voidaan havaita ohuthietutkimuksessa, sillä se eroaa myöhäisvaiheen pakkasrapautumasta. [2, s. 23]

3.4.3 Alkali-kiviainesreaktio

Alkali-kiviainesreaktiolla (AKR) tarkoitetaan betonin sisältämän kiviaineksen korkeasta alkalisuudesta aiheutuvaa, kiviainesta rapauttavaa reaktiota. Alkali-kiviainereaktio on joskus jaettu alkali-silikaatti-, alkali-karbonaatti- ja alkali-piidioksidireaktioon. Nykytietämyksen mukaan ainoastaan alkali-piidioksidireaktio rapauttaa betonia. Piidioksidi on alkali-kiviainesreaktiossa reagoiva aines. AKR voi tapahtua vain, mikäli kiviaineksessa on heikosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja, betonin tekoon käytetty sementti sisältää runsaasti alkaleja, ja betonin kosteuspitoisuus on riittävän korkea. Jokainen edellä mainituista kriteereistä vaaditaan, jotta AKR voi tapahtua. [1, s. 29-30]

AKR:n voi tunnistaa betonirakenteessa pinnan laikkuudesta, joka johtuu kosteudesta, epäsäännöllisestä verkkohalkeilusta, sekä halkeamista ulos tunkeutuvasta geelimäisestä reaktiotuotteesta (kuva 9, s.24). AKR:n ulospäin näkyvät vauriot muistuttavat pakkashalkeilua. Usein pakkashalkeilu ja AKR tapahtuvat rakenteessa samanaikaisesti. Merkittävänä erona on vaurioitumissyvyys. Pakkashalkeilu tapahtuu usein voimakkaimpana rakenteen ulkopinnassa ja heikkenee syvemmälle betoniin mentäessä, kun taas AKR:n aiheuttama halkeilu voi jatkua voimakkaana myös syvemmällä rakenteessa, aiheuttaen tasaisen halkeiluverkoston betoniin. [1, s. 30]



Kuva 9. Tyypillinen esimerkki alkali-kiviainesreaktion aiheuttamasta halkeilusta betonirakenteessa. Kuva: Amin K Akhnoukh.

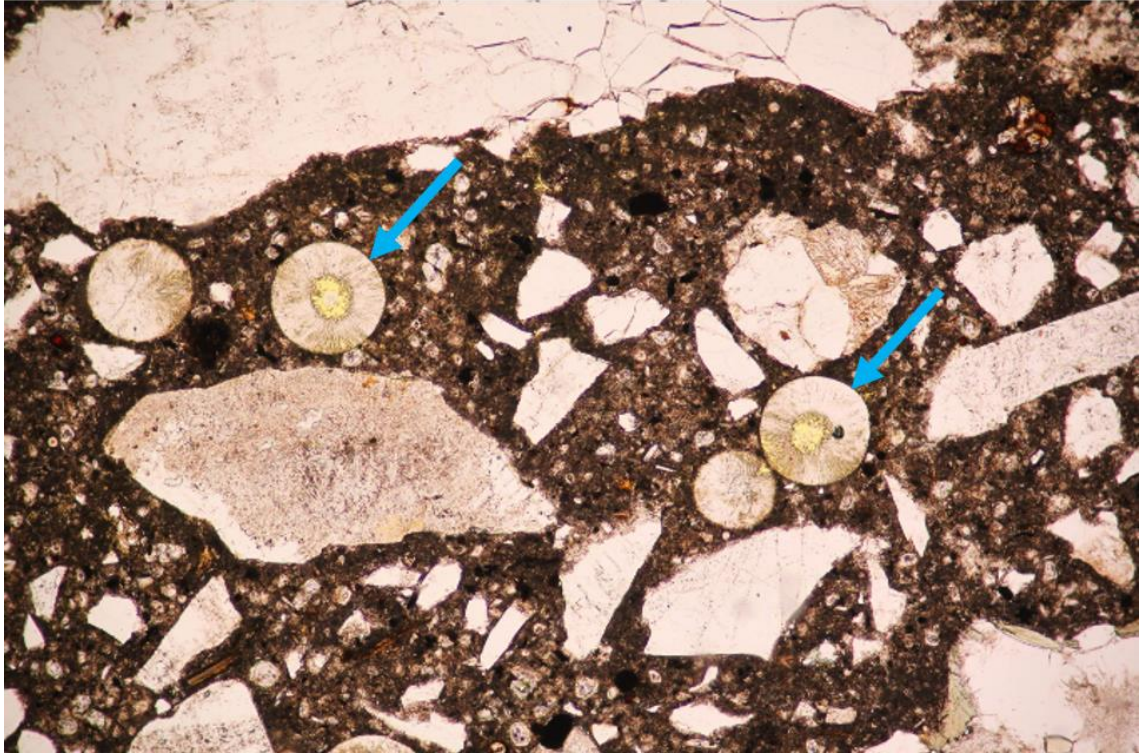
AKR on Suomessa suhteellisen harvinainen ilmiö, johtuen suomalaisten kivilajien hyvästä kemiallisesta kestävydestä. AKR on kuitenkin Suomessakin todettu ilmiö. Tyypillisesti gneissit, graniitit, kvartsiitit ja liuskeet ovat olleet reagoivia kiviaineksia. Ulkomaisen kiviaineksen ja AKR-testaamattoman murskatun kiviaineksen käyttö nostavat AKR:n esiintymisen riskiä tulevaisuudessa. Skandinavian maissa ja Keski-Euroopassa AKR:a on todettu erityisesti massiivisissa betonirakenteissa, esimerkiksi silloissa ja padoissa. Suomalaisissa betonirakenteisissa julkisivuissa ja parvekkeissa on havaittu AKR:a vain harvoin. Syynä tähän on AKR:n ja pakkasvaurioitumisen samankaltaisuus ja yhtäaikainen ilmeneminen. Korjauksen kannalta julkisivuissa ei ole juuri merkitystä, korjataanko pakkasrapautuman vai AKR:n aiheuttamia vaurioita. Parvekkeiden osalta sen sijaan on tärkeää tietää, kummasta vauriosta on kysymys, sillä AKR voi esiintyä myös syvällä rakenteessa ja jatkuu korjausten jälkeenkin. AKR voidaan havaita ohuthietutkimuksen avulla. ^[1, s. 30]

Alkali-kiviainesreaktion potentiaalin voi estää esimerkiksi silikalla, masuunikuonalla, tai lentotuhkalla betonissa. ^[7]

3.4.4 Ettringiittireaktio

Ettringiittimineraalia on luonnostaan kaikissa betoneissa. Ettringiitti on portlandsementin hydrataatiotuote, jolla on vaikutusta betonin lujuuden kehitykseen ja pitkällä aikavälillä myös betonin stabiiliuteen. Ettringiittireaktiosta on kaksi muotoa: hydrataatiovaiheessa syntyvä ettringiitti ja myöhäisvaiheen ettringiitti, joka johtuu sulfaattimineraalien kemiallisesta reaktiosta kovettuneessa sementtikivessä. Myöhäisvaiheen ettringiittireaktioon liittyy reaktiotuotteiden merkittävä tilavuuden kasvu. Ettringiittikiteiden kiinteän muodon tilavuuden kasvu ylittää 130...140 %:iin lähtöaineen tilavuudesta. Myöhäinen ettringiittireaktio johtuu usein liian voimakkaasta betonin lämpökäsittelystä kovettumisvaiheessa, joka aiheuttaa häiriötä sementin kovettumisreaktiossa. Myöhäinen ettringiittireaktio on yleisin suureen kosteusrasitukseen joutuneissa elementeissä, joita on lämpökäsitelty voimakkaasti. [1, s. 28]

Ettringiittimineraalin myöhäinen muoto kiteytyy suojahuokosten seinämille (kuva 10, s.26). Kiteytymät johtavat suojahuokosten tilavuuden pienenemiseen ja samalla heikentävät betonin pakkasenkestävyyttä. Ettringiittireaktio aiheuttaa betonin rapautumista pakkasrapautumisen kautta, tai huokosten täyttymisen kautta, kun reaktiotuotteen tilavuudenkasvu aiheuttaa halkeamia betoniin. Reaktion edellytyksenä on voimakas kosteusrasitus. Ulkoapäin reaktion aiheuttamaa halkeilua ei erota pakkasvaurioitumisen aiheuttamasta halkeilusta. Ettringiittireaktio voidaan kuitenkin havaita ohuthietutkimuksen avulla. [1, s. 28]



Kuva 10. Ohuthietutkimuksessa havaittua ettringiittikiteytymää betonin huokosissa. Kiteytymät osoitettu kuvassa sinisillä nuolilla. Kuva: Vahanen Rakennusfysiikka Oy

3.5 Pintatarvikkeiden ja pinnoitteiden vaurioituminen

Pintatarvikkeiden irtoaminen on yleisintä klinkkerilaattapintaisilla julkisivuilla. Klinkkerilaattojen pituuden lämpötilakerroin eroaa merkittävästi betonin vastaavasta arvosta. Kosteuspitoisuuden muuttuessa keraamisten laattojen muodonmuutokset ovat hyvin pieniä. Betonin kutistuessa laattojen tartunta-alueelle syntyy pakkovoimia, jotka saattavat johtaa laattojen irtoamiseen tartuntalujuuden pettäessä. Toinen syy laattojen irtoamiseen on betonin huonosta pakkasenkestävyydestä johtuva ulkokuoribetonin pakkasrapautuminen. Kolmas yleinen syy laattojen irtoamiselle on erityisesti elementtien reuna-alueilla esiintyvä raudotteiden korroosio lähellä pintatarviketta. Ruostuessaan teräksen tilavuus kasvaa ja klinkkerilaatta irtoaa betonista. Tiililaattojen tapauksessa kiinnitys betoniin on yleensä vahvempi, kuin klinkkerilaatoilla. Tiililaatan kimmokerroin on pienempi ja vedenimukyky suurempi. Tiililaattojen ongelmana saattaa olla pakkasrapautuminen. Tiililaattapintaisissa julkisivuissa suurin ongelmakohta on

tiililaattapinnan ja yläpuolisen maalatun pinnan raja, jossa ylimpiin tiililaattoihin saattaa kohdistua suurta kosteusrasitusta. Rajakohtaan tulisi aina asentaa vesipelti. [1, s.34-35]

Rapatun julkisivun maalipinta tai pinnoite voi halkeilla siihen kohdistuvien pakkovoimien vaikutuksesta, kuten itse rappauskin. Pintakäsittelyn murtovenymä on pienempi kuin itse rappauksen. Orgaaniset maalit ja pinnoitteet, mukaan lukien silikonihartsimaalit, muuttuvat orgaanisten laastien tavoin hauraiksi, kun lämpötila laskee alle niiden lasittumislämpötilan. Halkeilua saattaa syntyä myös maalin tai pinnoitteen sitoutumisen aikana, jos niiden kutistuminen on suurta. Ongelma saattaa johtua maalin liian suuresta liuotinmäärästä. Erityisesti tiiviisti pintakäsitellyissä rakennuksissa pintakäsittelyn halkeilu kasvattaa kosteuden imeytymistä rappaukseen. [6, s.59]

Rappauksen pintakäsittely kuuluu hankaavan liikkeen seurauksesta. Hankaavaa liikettä voi aiheutua esimerkiksi toistuvasta ihmisten kulkemisesta julkisivujen vierellä, puun oksien hankauksesta, tai graffitien poistosta. Erityisesti kalkkimaalilla maalatuissa julkisivuissa hankauksen kesto on huono. Viistosaderasitus nopeuttaa kulumista. Merkittävästi kulunut pinnoite lisää rappauksen kosteusrasitusta. [6, s.60]

Orgaaniset pinnoitteet ja maalit haurastuvat ikääntyessään UV-säteilyn, lämmön, mekaanisen rasituksen, kosteuden, kemiallisten aineiden ja mikrobien vaikutuksesta. Haurastuminen johtaa pinnoitteen tai maalin halkeiluun, hilseilyyn, lohkeiluun ja kuoriutumiseen. Orgaaniset pinnoitteet ja maalit voivat myös liituuntua UV-säteilyn katkoessa niiden sideaineiden välisiä liitoksia. Liituuntumisella tarkoitetaan pigmenttihiukkasista muodostuvan pölykalvon muodostumista pinnoitteen tai maalin pintaan. Liituuntumisen nopeuteen vaikuttavat pinnoitteen tai maalin sideaine ja pigmentit. Keinohartsipinnoitteet liituuntuvat nopeammin, kuin silikonihartsipinnoitteet. Liituuntuminen edistää julkisivupintojen likaantumista. [6, s.60]

Pinnoitekerros voi irrota rappauslaastista pinnoitteen ja rappauksen rajapintaan muodostuvien veto-, tai leikkausjännitysten seurauksena. Leikkausjännityksiä saattaa syntyä esimerkiksi silloin, kun rappauksen ja pinnoitteen muodonmuutokset ovat erilaisia. Tällaisia muodonmuutoksia ovat esimerkiksi lämpö- ja kosteusliikkeet tai maalin liiallinen kutistuminen. Orgaaniset julkisivumaalit muodostavat tiiviin kalvon rappauksen pintaan. Tiivis pintakäsittely estää sadeveden pääsyn rappaukseen, mutta vesi pääsee

aina rappaukseen maalipinnan epäjatkuvuuskohtien, halkeamien yms. kautta, mikä johtaa seinärakenteen heikentyneeseen kuivumismahdollisuuteen. Kun seinärakenne ei pääse kuivumaan, johtaa se usein pakkasrapautumiseen ja suolojen kiteytymiseen. [6, s.61]

Julkisivupinnat likaantuvat epäpuhtauksien vaikutuksesta julkisivupinnassa. Likaantumisenopeus riippuu pääasiassa julkisivupinnan karkeudesta ja vedenimukyvyvystä. Karkeat ja vettä hyvin imevät pinnat likaantuvat tasaisemmin kuin sileät, vettä hylkivät pinnat. Karkeat tiilipinnat ovat erityisen alttiita epäpuhtauksien tarttumiselle. Likaantuminen on runsainta alueilla, joissa vesi ohjautuu esimerkiksi pellitysten kautta julkisivupintaan. Julkisivupinnoitteen liituuntuminen nopeuttaa likaantumista. Likaantuminen aiheuttaa esteettistä haittaa, mutta voi kertoa rappauksen kohonneesta kosteusrasituksesta. [6, s.79-80]

Julkisivupinnoille voi muodostua jäkälä-, sammal-, levä- ja muita kasvustoja otollisissa olosuhteissa. Kasvustojen muodostumisnopeuteen vaikuttaa rakenteen ulkopinnan läheisyyden kosteuspitoisuus, lämpötila ja orgaaninen lika julkisivulla, johon puolestaan vaikuttaa läheinen kasvillisuus. Kasvustojen otollisimmat olosuhteet ovat 15...30 °C:ttä lämpötila ja yli 80 %:in huokoisen materiaalin suhteellinen kosteus. Kasvustoja muodostuu herkimmin sellaisille julkisivuille, minkä kuivuminen on hidasta (pohjois- ja itäjulkisivut). Kuivumisnopeuteen vaikuttaa pinnan absorboima auringonsäteily ja pinnan väri. Julkisivupintojen kasvustot ovat esteettinen haitta, lisäksi ne kertovat julkisivun korkeasta kosteusrasituksesta, sekä laajalti kertyessään pitävät julkisivua pitkään märkänä ja näin altistavat julkisivun pakkasrapautumiselle. Eristerappausjärjestelmissä likaantumisen ja kasvustojen muodostumisen nopeutta kasvattaa rappauksen pintaan tiivistyvä ulkoilman kosteus. [6, s.80]

3.6 Rakenteen muodonmuutokset ja halkeilu

Betonirakenne saattaa halkeilla plastisen ja kovettumisvaiheen kutistumien, kuivumakutistuman ja sen erojen, rakenteen kuormituksen, tukien siirtymän, lämpötilamuutosten, betoniterästen korroosion, sekä pakkasrapautumisen vuoksi. Halkeamat eivät ole vain esteettinen haitta, vaan halkeamien kautta kloridit ja ilman

hiilidioksidi pääsevät tunkeutumaan syvemmälle betoniin. Halkeamien liike aiheuttaa pintakäsittelyvaurioita. [1, s.37]

Julkisivuissa esiintyvät halkeamat johtuvat useimmiten valmistus- ja asennusaikaisista nostotöistä ja niissä tapahtuvista mekaanisista kuormitustekijöistä. Käytön aikana halkeamia voi syntyä myös törmäyksistä tai erilaisista pakkovoimista. Pakkovoimia syntyy esimerkiksi ulkokuoren kiinnikkeiden estäessä ulkokuoren liikettä sisäkuoreen nähden ja estäessä ulkokuoren kaareutumista. Korroosiovaurioituminen ja pakkasrapautuminen aiheuttavat myös halkeilua edetessään. [1, s.37]

Elementin kaareutumisen syynä ovat usein levyn paksuussuuntaiset muodonmuutoserot, jolloin kaareutuminen tapahtuu vähemmän kutistuvan, tai paisuvan pinnan suuntaan. Kaareutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös elementin kiinnitystapa ja koko. Esimerkiksi sandwich-elementtien kaareutuminen on usein selkeästi kuorielementtejä pienempää. Tiili- ja klinkkerilaattapintaisissa elementeissä ja pesubetonipintaisissa elementeissä tapahtuu kaareutumista usein, mikä johtuu taustabetonin erilaisesta kutistumisominaisuudesta pintamateriaaliin verrattuna. Pakkasrapautuminen aiheuttaa myös julkisivuelementtien kaareutumista ulos-, tai sisäänpäin riippuen siitä, pakkasrapautuuko elementti ulko- vai sisäpinnastaan. [1, s.38]

Parvekerakenteissa tapahtuu runsaasti liikettä lämpötilan ja kosteuden vaihdellessa, sillä parvekerakenteet ovat kokonaan ulkoilmassa. Parvekkeiden liikettä rajoittavana tekijänä voivat toimia rungosta parvekkeeseen tulevat siteet, tai kannatuspalkit. Parvekkeissa tapahtuvat jännitykset saattavat olla erittäin suuria; esimerkiksi paikallavaletuissa pitkissä parvekelaatoissa voi ratakiskokannakkeiden vetovoimasta tapahtua parvekelaatan katkeaminen. [1, s.39]

Rapatuissa julkisivuissa halkeilu mahdollistaa sadeveden pääsyn rakenteen sisään. Rappauspintaan muodostuu halkeamia rappauslaastin kuivumiskutistuman, plastisen vaiheen kutistuman, sekä rakenteellisen halkeilun vuoksi. Rakenteellisella halkeilulla tarkoitetaan rungon ja/tai rappausalustan liikkeistä johtuvaa rappauspinnan halkeilua. Rakenteellisten halkeamien syntyyn voidaan vaikuttaa huolellisella työn suorituksella ja hyvillä suunnitteluratkaisuilla. Erityishuomiota tulee kiinnittää muurattujen rakenteiden perustuksiin, sillä muuratut seinät ovat hauraita, eivätkä kestä painumien aiheuttamia

pakkovoimia. Aukkojen ylityspalkit ja muurattuja rakenteita kannattavat palkit saattavat taipuessaan aiheuttaa seinärakenteen halkeilua. Liikuntasauvojen määrällä ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa rakenteellisten halkeamien syntyyn. Rappausalustan ja laastin erisuuruiset lämpöliikkeet ovat yleinen halkeilun aiheuttaja rakenteissa. [4, s.63-64]

Plastisen vaiheen kutistumalla tarkoitetaan tuoreen, jäykistyvän laastin lujoudenkehityksen alkuvaiheen kutistumaa. Kutistuminen aiheutuu veden poistumisesta laastista. Tässä vaiheessa tapahtuvaan kutistumiseen vaikuttaa voimakkaasti ympäristön olosuhteet ja työtekniikka. Korkeampi ilman lämpötila ja tuulinen sää kuivattaa laastipintaa nopeammin ja aiheuttaa samalla enemmän plastisen vaiheen kutistumaa. Plastisen vaiheen kutistumahalkeilua voidaan vähentää hyvällä jälkihoidolla, rappauksen suojauksella työ- ja jälkihoitovaiheessa, sekä oikeiden työtekniikoiden valitsemisella. Laastin v/s suhteen alentamisella voidaan vähentää laastin halkeilua; tosin työstettävyyden vuoksi suhdetta pitää usein nostaa. [4, s.64-65]

Kovettuneen laastin kuivumiskutistumalla tarkoitetaan plastisen vaiheen jälkeen tapahtuvaa kutistumaa. Kutistuma tapahtuu usein eniten rakenteen pinnasta, sillä kutistuma on voimakkainta laastin pinnassa. Tyypillisesti halkeilu on tiheää ja halkeamat pienenevät rappausalustaa kohti mentäessä. Heikoille alustoille tehdyt rappaukset saattavat irrota alustastaan kuivumiskutistuman vuoksi ja alueelle muodostuu ns. kopo kohta rappauksessa. Kovettuneen laastin kuivumiskutistumaan vaikuttavat erityisesti käytetyt materiaalit, v/s -suhde ja rappauksen jälkihoito. Korkea v/s suhde lisää laastin kutistuvan aineksen määrää. Laastin runkoainekoko ja -jakauma vaikuttaa kutistumaan vähentämällä tarvittavan sideaineen ja sitä kautta madaltamalla kutistuvan aineksen määrää laastissa. [4, s.65-66]

Halkeilun aiheuttajana voi toimia myös värinä, mitä aiheutuu yleisimmin liikenteestä, rakennuksen käytöstä, tai lähellä tehtävästä räjäytystyöstä. Värinä aiheuttaa useimmin ensin hiushalkeamia, joista ajan kanssa laajentuu suurempia halkeamia. Vaurioitumista edistää halkeamien kautta rakenteeseen pääsevä kosteus ja sen jäätyminen. [6, s. 54]

Rappauksen halkeilua voidaan jakaa tasaisemmin ja laajemmalle alueelle rappausverkon avulla. Tällöin rappaukseen muodostuu melko tiheä halkeiluverkosto, jossa halkeamat ovat pieniä. Kevytbetonialustalla rappausverkkoa tulee käyttää aina ja

kevytsoraharkkoalustalla rappausverkon käyttö on suositeltavaa. Jos rappausalusta vaihtuu ilman liikuntasaumaa, tulee rappauksessa aina käyttää rappausverkkoa. [4, s.67]

3.7 Rappausalustan ja -verkkojen vaurioituminen

Eristerapatuissa julkisivuissa paksurappaus-eristejärjestelmissä käytettävät rappausverkot ovat aina kuumasinkittyjä. Kuumasinkitykseen voi kuitenkin tulla vaurioita esimerkiksi kuljetuksessa tai työsuorituksen aikana, jolloin verkko saattaa päästä korroosiovaurioitumaan. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä käytetään metalliverkon sijasta muovipintaisia lasikuituverkkoja. Muovipinnoitus parantaa verkon alkalinkestävyyttä. Lasikuituverkoissa saattaa silti vanhetessaan tapahtua lujuuden menetystä, jolloin esimerkiksi halkeamakohdasta verkko saattaa katketa. [2, s.34]

Muuratuissa ulkoseinissä halkeilua esiintyy tyypillisesti perustusten painuman vuoksi. Alustana toimiva muuraus halkeillessaan aiheuttaa myös rappauksen halkeilua. Harkko- ja kuorimuuriseinissä syntyy halkeilua myös lämpötila- ja kosteusmuodonmuutosten aiheuttamien pakkovoimien vuoksi. Tyypillistä on myös vaakahalkeilu yläpohjatasolla, kun lämpimän ja kylmän rakenteen raja tulee vastaan. Tiiliseinissä rakenteelliset halkeamat kulkevat usein laastin ja muurauskivien rajaa pitkin. Muuratun ulkoseinän teräsosien ruostuminen saattaa aiheuttaa vakavaa vaurioitumista kaikentyyppisiin seinärakenteisiin. Muuratut rakenteet ovat usein pakkasenkestävyysominaisuuksiltaan suhteellisen heikkoja. Niiden massiivisuudesta johtuen niiden kosteudensitomiskapasiteetti on suuri ja nopeat kuivumisominaisuudet voivat mahdollistaa pitkän käyttöiän ankarissakin olosuhteissa. [4, s.78-80]

Levyrappauksissa käytettävä rappauslevy on yleensä kalsiumsilikaattipohjainen, lasipohjainen, kevytsora-, tai kuitusementtilevy. Levy valitaan niin, että se sietää hyvin toistuvia kastumis-kuivumissyklejä, homeelle suotuisia olosuhteita ja jäätymissulamissyklejä. Levyjä työstetään usein työmaaolosuhteissa, jolloin riskinä on levyjen vahvikepinnan repeäminen. Asennusvaiheessa riskejä ovat levyjen taittuminen tai kolhiintuminen, jolloin levyjen ominaisuudet saattavat kärsiä. Levyjen säilyttäminen sisäolosuhteissa ennen asennusta altistaa levyt suuremmille lämpötila- ja kosteusliikkeille. [5, s.159-161]

Eristerappauksissa ongelmia saattaa aiheuttaa lämmöneristeiden alhainen kapillaarinen vedenimukyky, joka saattaa heikentää laastin tartuntaa. Lämmöneristeet voivat myös vaurioitua UV-säteilystä varastoinnin tai asennuksen aikana. Lämmöneristeiden vanheneminen heikentää myös niiden mekaanisia ominaisuuksia. Lämmöneristeiden vaurioituminen on erityisesti ohutrappauseristejärjestelmien ongelma, sillä lämmöneriste toimii kuormia siirtävänä rakenteena. Paksurappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeen vanheneminen aiheuttaa kohonnutta riskiä rakenteen painumiselle. Lämmöneristekerrokseen pääsevä vesi myös heikentää rakenteen lämmönvastusta. [2, s.20,34]

Kuorimuurirakenteissa halkeilua aiheuttaa aukkojen ylityspalkkien taipuminen tai kannatusrakenteiden taipuminen. Halkeiluun vaikuttaa liikuntasauvojen puute tai väärä sijainti, sekä kylmän ja lämpimän tilan rajapinta, esimerkiksi yläpohjan tasolla. [6, s.56]

Kovalle alustalle tehdyissä rappauksissa on käytetty 1970-luvulta lähtien sinkittyjä rappausverkkoja, joissa korroosiovaurioituminen on harvinaista. Vanhemmissa rakennuksissa on käytetty halkeilun hallintaan myös pinnoittamattomia raudoiteverkkoja, mitkä ovat alttiita korroosiovaurioitumiselle. Raudoitteiden korroosiosuoja perustuu rappauslaastin korkeaan alkalisuuteen. Rappauskerrosten ohuudesta ja laastin huokoisuudesta johtuen laasti läpikarbonatisoituu nopeasti, mikä johtaa raudoitteiden korroosiosuojan häviämiseen. Pitkälle etenevä korroosio voi lohkaista rappauksen. [6, s.66]

4 Rakenteiden tutkimusmenetelmät

Kuntotutkimuksen yleisenä tavoitteena on, että tutkijalle muodostuu käsitys rakenteessa mahdollisesti esiintyvistä vaurioista ja toimivuuspuutteista. Sen pohjalta tutkija kerää niiden tilaa, syitä, etenemistä ja vaikutuksia kuvaavia tietoja. [1, s. 83]

Vaurioitumisen etenemistä ja vaurioiden syitä voidaan selvittää

- kohteen suunnitteluasiakirjoista ja piirustuksista ja muista lähtötiedoista, esimerkiksi isännöitsijän, kohteen käyttäjän, tai huoltoliikkeen edustajan antamista havainnoista ja tiedoista
- erilaisten rakenteiden ja vaurioiden aistinvaraisella tarkastuksella
- erilaisten kenttätutkimusmenetelmien avulla
- näytteenoton ja laboratoriotutkimusten avulla. [3, s. 41]

Rapatuissa julkisivuissa oleellisinta on tutkia rappauksen rapautumista, sekä rappauksen tartuntaa alustaansa. Näissä tulee huomioida

- rapautumisen aste, laajuus ja sijainti
- syy ja korjattavuus
- eteneminen tulevaisuudessa ja mahdolliset vaikutukset turvallisuuteen [5, s.65–66]

4.1 Lähtötietoihin perehtyminen

Kohteen alkuperäiset suunnitteluasiakirjat antavat kohteesta hyödyllisiä tietoja, kuten rakennetyypit ja käytetyt materiaalit. Lähtötietojen perusteella voidaan arvioida paremmin rakenteisiin vaikuttavia rasitustekijöitä, kuten kosteus, pakkasrasitus, lämpö, ja edellisistä johtuvat liikkeet. Lähtötietoihin perehtyessä kuitenkin tulee ottaa huomioon,

ettei kohteen toteutustapa välttämättä vastaa suunnitelmia, tai että mahdolliset muutostyöt on jätetty dokumentoimatta. Suunnitteluasiakirjoissa saattaa myös löytyä tietoa esimerkiksi käytetystä rappauslaastista ja alustamateriaaleista. Lisäksi voidaan selvittää rakenneliittymien sijainnit, mikä auttaa esimerkiksi halkeamien syyn selvityksissä. Tilojen käyttäjän tai omistajan konsultoinnissa taas saadaan arvokasta tietoa vaurioiden syntymisajankohdasta ja niiden laajuudesta. [3, s. 41-42]

4.2 Aistinvarainen arviointi

Aistinvaraisella tarkastuksella voidaan selvittää pitkälle edenneitä vaurioita ja niiden vaikutusta ja merkitystä korjaustavan valinnalle. Aistinvaraisesti arvioituna saadaan laajalla otannalla käsitys rakenteen vaurioitumisesta. Tarkastelussa voidaan kartoittaa alustavasti vaurioiden aiheuttajia, esimerkiksi vuotavat sadevesijärjestelmät ja rakenneliittymien virheet ja vauriot. Lisäksi voidaan kartoittaa pinnoitevaurioiden laajuutta. [3, s. 42]

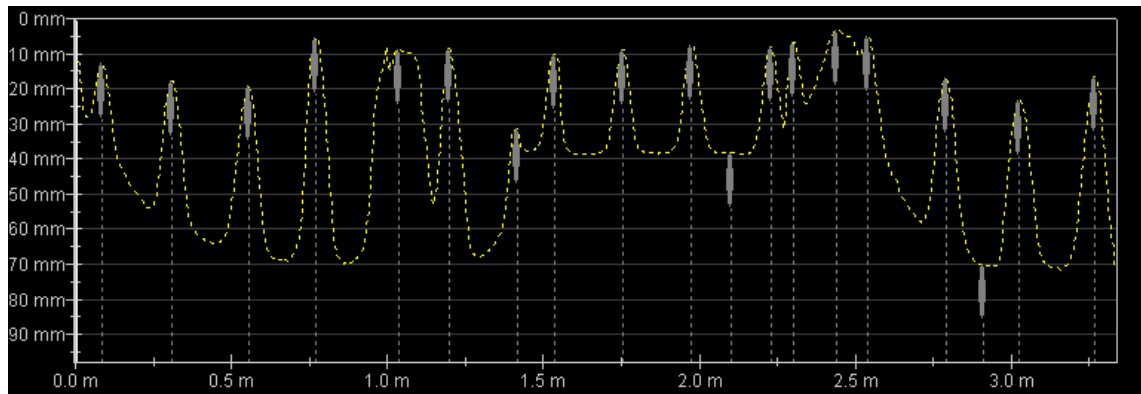
Rappausta tarkasteltaessa on tärkeää kartoittaa rappauksen halkeilua ja arvioida halkeilun syytä. Halkeamista tulee selvittää, muodostavatko ne säännöllisiä kuvioita, liittyykö niiden syntyminen tiettyihin rakenneliittymiin, tai seuraavatko ne esimerkiksi tiilisauvoja. Kartoituksen yhteydessä on suositeltavaa tarkastaa myös

- ikkunapellitykset, niiden kunto ja liittymät
- koristeosat
- parvekkeiden ja katosten kallistukset, pellitykset ja vedenpoisto
- vesikatteen ja sadevesijärjestelmien kunto [3, s.45]

4.3 Peitekerrosmittaus

Raudoitteiden peitepaksuusmittauksella kartoitetaan, kuinka suuri osa raudoitteista on riskialttiilla vyöhykkeellä joko karbonatisoitumisesta tai betoniin tunkeutuneista

klorideista johtuen. Peitepaksuusmittausten ja karbonatisoitumissyvyyden, ja/tai betoniin imeytyneiden kloridien määrittämisellä pyritään arvioimaan, paljonko korroosiovaurioita on odotettavissa tulevaisuudessa. Raudoitteiden peitepaksuuksia mitataan sähkömagneettiseen induktioon perustuvalla peitepaksuusmittarilla. Mittausta varten tulee selvittää raudoitteen halkaisija esimerkiksi suunnitelma-asiakirjoista. Peitepaksuusmittauksia tehdään satunnaisotantana tutkittavasta rakenteesta ja jokainen yksittäinen lukema kirjataan muistiin (kuva 11). Näin saadaan käsitys, miten suuri osa raudoitteista on korroosiovaarassa. Lukemia tulisi olla noin 100...200 mitattavaa rakennetyyppiä kohden mahdollisimman laajalla otannalla. Jokainen rakennetyyppi tulee mitata erikseen, esimerkiksi pesubetonijulkisivuelementti, parvekelaatan yläpinta ja alapinta, tiililaattapintainen julkisivuelementti jne. [1, s. 85-87]



Kuva 11. Profometer 630 -laitteen näyttökuva peitepaksuuksia mitattaessa. Kuva: Tommi Karihtala.

4.4 Kopo-kartoitus ja vasarointi

Betonin rapautumista tutkittaessa voidaan tehdä betonirakenteen vasarointia. Erityisesti sileille pinnoille soveltuvassa vasarointimenetelmässä lyödään raskaalla vasaralla julkisivujen ja parvekerakenteiden rasitetuimpia osia. Mikäli vasarointivälikkeessä on pitkälle edennyt rapautumaa, on vasaran kimpoaminen rakenteen pinnasta heikompaa ja koputusääni on matalampi. Pesubetonipinnoilla ja harjatuilla betonipinnoilla menetelmän tarkkuus on heikempi, sillä vasarointi murskaa pinnan kohoumia. [1, s.89]

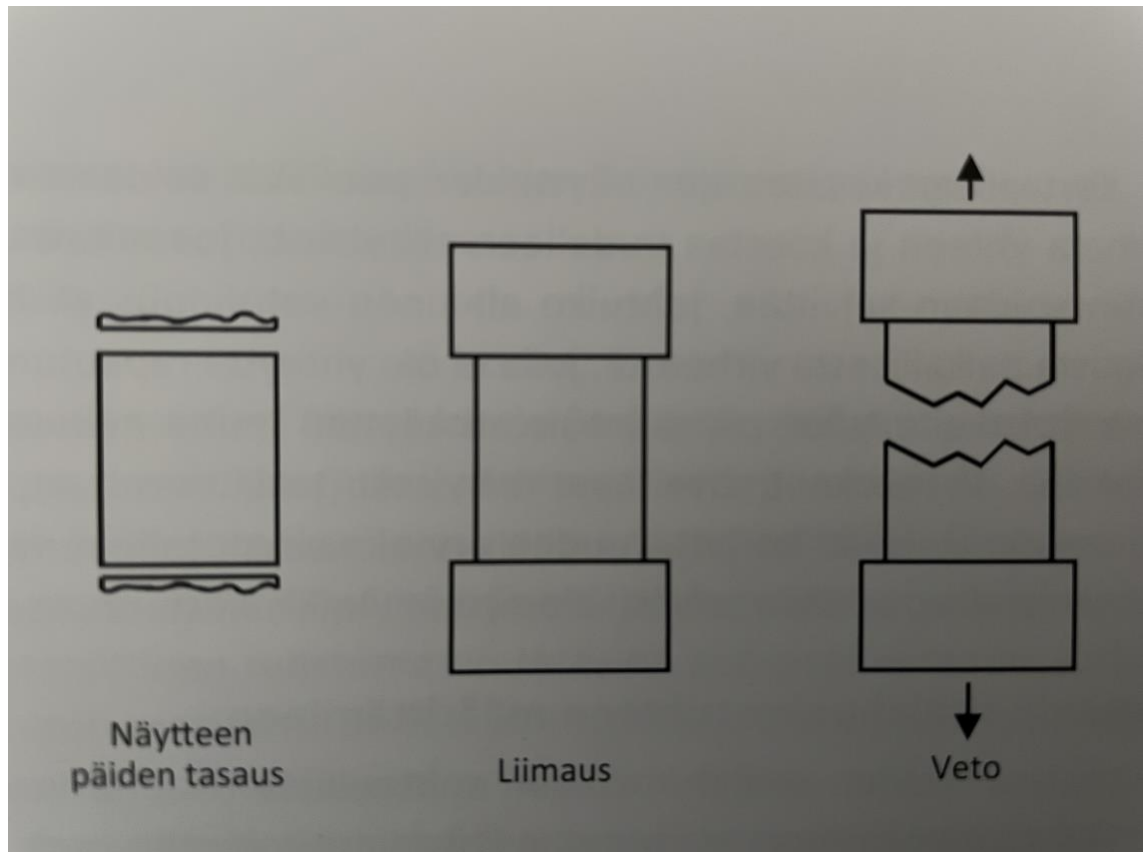
Rapattujen julkisivujen kuntotutkimuksessa voidaan tutkia rappauksen tartuntaa alustaansa niin sanotun kopo-kartoituksen avulla. Vasaralla koputellaan julkisivurappausta kevyesti ja kuunnellaan siitä syntyvää ääntä. Erilaiset alustavat aiheuttavat eritaajuisia ääniä. Ontto ääni kertoo rappauksen olevan irti alustastaan. Ontto ääni saattaa aiheutua myös esimerkiksi kohdalla kulkevasta putkikanavasta tai eristeestä. Kopo-kartoitus ei siksi sovellu eriste-, tai levyrapatuille julkisivuille. Kopo-kartoituksella voidaan kartoittaa alustastaan irti olevaa rappausta ja alustastaan irti olevien rappausalueiden rajat. Kartoitusta voidaan tehdä myös vetämällä vasaraa pitkin rappausta ja kuunnella siitä syntyvää ääntä. Käytännössä lähes kaikista rappauksista löytyy kopoja alueita, mitkä voivat johtua myös alustan irtoamisesta (esim. kaasubetoniharkko). Kopokartoitusta tulee täydentää muilla tutkimuksilla ja arvioida, mikä osa on vaurioitunutta ja mikä ns. tervettä kopoa. [3, s.43-45]

4.5 Puristuslujuuskoe

Betonin puristuslujuutta voidaan ajatella yleisesti betonin laadun mittarina. Betonin puristuslujuuden määrittäminen ei kerro juurikaan vaurioiden etenemisestä tai olemassaolosta, joten sen käyttö kuntotutkimuksissa on siksi harvinaista. [1, s.103]

4.6 Vetokoe

Betonin rapautuessa betoniin alkaa syntyä mikrohalkeilua, minkä siintyminen aiheuttaa betonin lujuuden laskua. Betonin rapautumisen tilannetta voidaan siten arvioida vetokokeiden avulla. Vetokokeita voidaan tehdä itse betoniin, tai esimerkiksi pintatarvikkeen tartuntavetolujuuden arvioimiseksi. Betonin vetolujuuden määrittämisellä voidaan myös arvioida betonin laatua ja korjattavuutta yleisesti. Paikkauslaasteissa ja uusissa pintatarvikkeissa on usein määritetty alustan vähimmäisvetolujuus, jotta tartunta on varmasti hyvä. Vetokokeita voidaan tehdä joko kenttäolosuhteissa, tai ulkokuoren läpi poratusta lieriönäytteestä laboratorioissa (kuva 12, s.37). Lieriönäytteistä tehty koestus on yleisesti ottaen tarkempi, sillä siinä voidaan tutkia vetolujuus koko betonikuoren paksuudelta. [1, s.92]



Kuva 12. Vetokokeen peruseriaate esitettyä kuvan avulla. Kuva: by42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019.

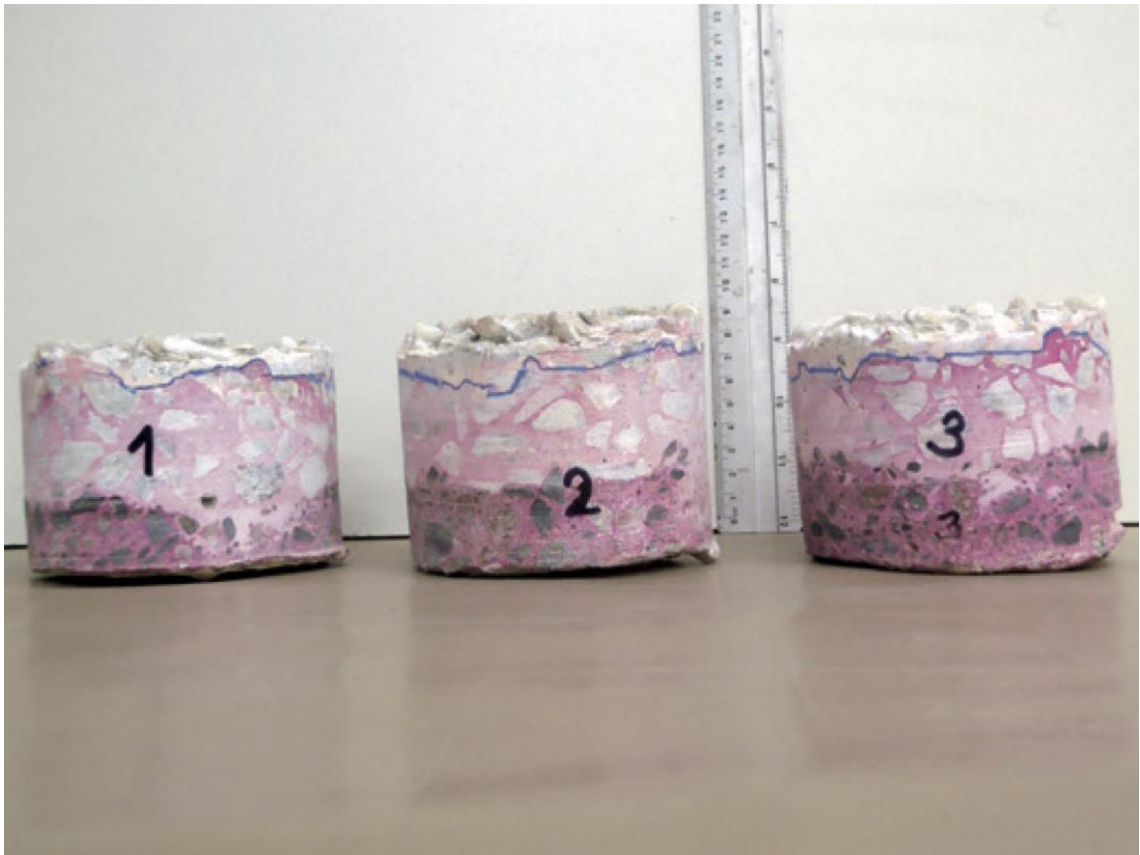
Vetokoetta varten tulee huomioida, että porattavan betonilieriön halkaisija on tarpeeksi suuri. Koestettavan kappaleen halkaisijan tulisi olla vähintään kolme kertaa betonissa käytetyn runkoaineen maksimiraekoko. Yleensä näyte on halkaisijaltaan joko 50 tai 75 mm. Vetokokeiden tuloksia tulee tulkita ryhmänä, sillä yksittäisissä tuloksissa saattaa olla tuloksia laskevia tekijöitä, kuten murtopinnassa oleva teräs, suuri tiivistyshuokonen, tai suuri runkoainerae. Yleisesti tuloksia luokitellaan seuraavasti:

- n. 0 MPa tarkoittaa, että näytteessä on pitkälle edennyttä rapautumaa.
- n. 0,5...1,0 MPa tarkoittaa, että näytteessä on jonkinasteista rapautumaa
- n. 1,5 MPa tai yli tarkoittaa, ettei näytteessä todennäköisesti ole merkittävää rapautumaa. ^[1, s.93]

Vetokokeita käytetään usein muita menetelmiä täydentävänä tutkimuksena, sillä ne ovat merkittävästi ohutietutkimuksia edullisempia toteuttaa, jolloin niillä voidaan nostaa tutkimuksen kattavuutta. [1, s.94]

4.7 Karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen

Betonin karbonatisoitumissyvyyttä mitataan pH-indikaattorilla (fenoliftaleiiniliuos), jolla voidaan erottaa karbonisoitunut betoni karbonisoitumattomasta. Karbonisoitumisella tarkoitetaan betonin neutraloitumisreaktiota, eli käytännössä betoni menettää raudotteiden korroosiolta suojaavan ominaisuutensa. Karbonisoituneen betonin pH on yleensä n. 8, kun taas karbonisoitumaton betoni on erittäin emäksistä, pH:n ollessa n. 13...14. Fenoliftaleiiniliuos värjää karbonisoituneen betonin punaiseksi (kuva 13, s.39), kun taas karbonisoitumattomassa betonissa värimuutosta ei tapahdu. [1, s.83-84]



Kuva 13. Fenoliftaleiiniliuoksen aiheuttamaa betonin värjäytymistä. Kuva: Betoni.com

Karbonatisoitumissyvyyksissä voi olla huomattavaa vaihtelua jo yhden näytelieriön matkalla. Yleensä pyritään määrittämään keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys yhden näytteen matkalla. Kun näytelieriö porataan esim. parvekelaatan tai ulkokuoren läpi, tulee karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen tehdä molemmilta näytteen pinnoilta. Yksittäiset suuremmat karbonatisoitumissyvydet näytteessä, esimerkiksi halkeaman vuoksi, jätetään huomiotta, kun lasketaan keskimääräistä karbonatisoitumissyvyyttä. Karbonatisoitumissyöhykkeen tasaisuudesta voidaan myös hieman arvioida betonointityön laatua. Karbonatisoitumisen elementti- ja näytekohtaisesta etenemisvaihteluista johtuen otannan tulee olla suhteellisen suuri, jotta saadaan tarpeeksi kattava kuva kohteen tilanteesta. ^[1, s.84]

Valkosementtibetoni saattaa aiheuttaa joissain tapauksissa koko näytteen värjäytymistä punaiseksi, jos se käsitellään fenoliftaleiiniliuoksella. Näissä tapauksissa karbonatisoituminen on suositeltavaa määrittää ohuthietutkimuksen avulla.

Karbonatisoitumisen eteneminen tapahtuu suhteellisen samalla nopeudella rakennuksen kerroksesta ja ilmansuunnasta riippumatta. Silti karbonatisoitumismääryksiä tulisi tehdä eri korkeuksilta ja eri ilmansuuntiin, jotta mahdolliset elementtien laatueroit saadaan huomioitua tutkimuksessa. Klinkkerilaattapintaisissa julkisivuelementeissä karbonatisoituminen etenee lähinnä elementin reunoilta ja taustapinnoilta sekä laattojen välisistä saumoista. [1, s.84-85]

4.8 Kloridien määrittäminen

Betonissa olevat kloridit voivat pieninäkin pitoisuuksina aiheuttaa raudoitteiden korroosiovaurioitumista huolimatta siitä, onko betoni edelleen alkalista vai ei. Raudoitteiden korroosioriskin kannalta kriittisenä kloridipitoisuutena raudoitetyypistä ja lähteestä riippuen pidetään yleensä noin 0,03...0,07 painoprosenttia happoliukoista kloridipitoisuutta betonin painosta. Käytännössä kuitenkin betonin kriittiseen kloridipitoisuuteen vaikuttaa merkittävästi betonin tiiveys, alkalisuus, kosteuspitoisuus ja sementtimäärä. Lisäksi betonin karbonatisoituminen vapauttaa klorideja ja kiihdyttää kloridikorroosiota. Kloridikorroosio johtaa usein raskaamman korjaustavan valitsemiseen, sen vuoksi kloridit tulisi aina tarkastaa kuntotutkimuksen yhteydessä ainakin pistokokeenomaisesti. Kloridit nopeuttavat karbonatisoitumisen käynnistämää raudoitteiden korroosiota merkittävästi. Kloridikorroosiota ei voida tunnistaa varmaksi ilman rakenneavauksia. [1, s. 87]

Kloridipitoisuuden mittaus tehdään joko jauhenäytteestä tai näytelieriöstä murskaamalla. Meren rannalla (200...300 m rantaviivasta) on usein syytä selvittää, ovatko kloridit peräisin valmistusvaiheesta vai ulkoisesta rasituksesta. Tällöin voidaan tutkia kloridipitoisuus eri syvyyksiltä betonia. Ulkoisesta rasituksesta johtuen kloridipitoisuuden tulisi pienentyä syvemmälle mentäessä. Kloridien määrittäminen tehdään titraamalla. Määrittäminen edellyttää jauhenäytettä, jonka maksimirakekoko on alle 0,1 mm ja jonka sisältämän sementin määrä on vähintään kaksi grammaa. Porausvaiheessa on riski, että kerätty jauhe on lähes pelkästään runkoainerakeen jauhetta. Näytteitä tulee usein kerätä useammasta rinnakkaisesta porareistä virheriskin pienentämiseksi. [1, s.87-89]

4.9 Ohuthietutkimus

Betonin rapautuminen johtuu betoniin syntyvistä halkeamista ja säröistä, joiden määrä kasvaa sitä mukaa, kun rapautuminen etenee. Betonin rapautumista tutkitaan tarkimmin mikrorakennetutkimuksella, eli pinta- tai ohuthietutkimuksen avulla. Näistä ohuthietutkimus on tarkempi menetelmä. Kuntotutkimuksessa rakenteen rapautuman eteneminen on syytä tarkistaa ohuthietutkimuksen avulla, mikäli rakenteen rapautumistilanne on kriittinen korjattavuuden kannalta, eikä rapautumista voida selkeästi todeta muilla tutkimusmenetelmillä. Esimerkiksi vedeneristämättömän parvekelaatan alkava rapautuminen ei ole kriittistä, sillä oikein tehty vedeneristys pysäyttää laatan pakkasrapautumisen. ^[1, s.90]

Ohuthietutkimuksella voidaan tunnistaa eri halkeama- ja säröilytyypit, alkali-kiviainesreaktion olemassaolo, toimivan lisähuokostuksen olemassaolo, halkeilun todennäköinen syy ja rapautumisen aste, huokosten täytteisyys ja mahdolliset haitalliset reaktiot, kuten ettringiittireaktio ja alkali-kiviainesreaktiossa syntyvä geeli. Lisäksi ohuthietutkimuksella voidaan selvittää karbonatisoitumisen etenemä betonissa, betonin laatu yleisesti, erilaisten pintakäsittelyjen ja pintatarvikkeiden tartunta alustaansa, sekä mahdollisen käytetyn maalin asbestikuitupitoisuus. Ohuthienäytettä varten betonista irrotetaan lieriönäyte timanttiporaamalla. Ohuthie valmistetaan laboratoriossa hiomalla näyte noin 25...30 µm:n paksuiseksi. ^[1, s.91]

Ohuthietutkimuksia on suositeltavaa kohdistaa seuraavalla tavalla:

- Kun muilla menetelmillä ei ole saatu viitteitä rapautumisesta, on suositeltavaa ottaa näytteet kohdasta, jossa todennäköisimmin esiintyvät ensimmäiset rapautumareaktiot (esim. voimakas pakkasrasitus tai todennäköisesti voimakas lämpökäsittely).
- Mikäli on havaittavissa selkeä näkyvä rapautumakohta, voidaan ottaa näyte läheltä vaurioaluetta, kuitenkin vielä ehjältä alueelta. Näin voidaan arvioida rapautuman paikallisuutta.

- Mikäli näkyviä rapautumavaurioita on runsaasti, otetaan näytteitä kevyemmin rasetuilla alueilta rapautumislaajuuden selvittämiseksi.
- Mikäli halutaan selvittää rapautumisen syy, tulee näytteet ottaa ehjästä betonista mahdollisimman läheltä rapautumaa. ^[1, s.92]

Yleisesti voidaan ohjeistaa, että mikäli rapautumaa ei ole havaittavissa silmämääräisesti tai vasaroimalla, tulisi teettää vähintään 2-3 ohuthietutkimusta vaurioaltiltuudeltaan suurimman rakennetyypin rasetuimmista kohdista. Näin saadaan varmuus, ettei rapautumaa rakenteessa ole. Mikäli rapautumaa havaitaan, tulee ohuthietutkimusten määrää harkita erikseen. Ilmiselvissä rapautumatapauksissa ohuthietutkimuksia ei välttämättä tarvita lainkaan. Tarkkaa ohuthietutkimusten lukumäärää ei voi kaavamaisesti ohjeistaa, sillä se riippuu muun muassa silmämääräisestä rapautumistilanteen olemassaolosta, pakkasrasitustasosta, halutusta luotettavuustasosta, rapautumisen vaikuttavuudesta turvallisuuteen tai korjattavuuteen, erilaisten rakennetyyppien lukumääristä, sekä näytteen kattavuudesta. ^[1, s.92]

Rapatuissa julkisivuissa ohuthietutkimuksella voidaan selvittää

- rappauksen pinnoitteen laatu (orgaaninen vai epäorgaaninen, sisältääkö kuituja), kerrosten paksuudet ja kunto, verkon sijainti
- KS-laastien sideaineiden suhdetta, jos laastin kiviaines ei ole kalkkikiveä
- eri rappauskerrosten paksuudet ja tartunta alustaan, mikäli alustaa on näytteessä mukana
- rappauskerrosten välinen tartunta
- rappauslaastin vesi-sementtisuhde
- sideaineen seosaineet ja sideaine-runkoainesuhde, sekä runkoaineen laatu
- laastikerrosten huokoisuus ja tiiviys

- pohjusteaineen käyttö
- eri rappauserrosten säröt ja halkeamat. [3, s.49-50], [6, s.142]

4.10 Muut menetelmät

Maalipinnoille voidaan tehdä viilto- ja raaputustesti. Orgaanisen maalikerroksen voi tunnistaa kalvomaisesta ulkonäöstä ja siitä irtoaa liuskemaisia suikaleita raaputettaessa. Epäorgaanisen pinnoitteen voi tunnistaa mattamaisesta ulkonäöstä ja sitä raaputettaessa irtoaa pölyä. Lisäksi veitsen kärjellä painettaessa epäorgaaninen pinnoite lohkeilee murusiksi. Silikaattimaalin voi tunnistaa poikkeuksellisesta pinnan lujuudesta. [3, s.46]

Pinnoitteen vedenimukykyä voidaan tutkia esimerkiksi kastelemalla seinää sumutinpullolla, tarkkailemalla veden imeytymistä ja vesikalvon muodostumista. Vedenimunopeutta voidaan tutkia seinään kiinnitettävän, yhdeltä sivulta avonaisen astian avulla. [3, s.47]

Eristerappausjärjestelmiä tutkittaessa on erittäin oleellista tutkia kiinnikkeiden ja lämmöneristeiden kunto. Kiinnikkeiden valmistus ruostumattomasta teräksestä voidaan tutkia magneetin avulla, sillä austeniittinen ruostumaton teräs on antimagneettista. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä voidaan arvioida lämmöneristeen tartuntaa alustaansa aistinvaraisesti poistamalla lämmöneriste liimalaastikerrokseen asti rakenneavauksen kautta. [2, s.88]

Lämpökuvauksella voidaan tarkastella rakenteen pintalämpötilan eroja. Kuntotutkimuksessa ainut saatu hyöty lämpökuvauksesta on elementtien kiinnityspaikkojen havainnointi, sillä ne muodostavat kylmäsillan rakenteen läpi. Ulkoseinän lämpötekniikan toimivuuden selvittäminen lämpökameran avulla on yleensä tarpeetonta, sillä lisälämmöneristäminen ei nykyään ole kannattavaa puhtaasti energiansäästösyistä. [1, s.103-104]

Lämpökameralla on lisäksi mahdollista havaita tietyillä keleillä eristerappausjärjestelmissä eristetilän kosteita alueita, mikä kertoo eristetilän tuulettavuuden toimivuudesta.

Raudoitteiden potentiaalia voidaan mitata sähköisesti rakennetta rikkomatta. Raudoitteen potentiaali on millivolteina ilmaistu suure, jolla kuvataan metallin jalousastetta. Raudoitteiden potentiaali riippuu siitä, onko rauditus korroosiotilassa vai ei. Potentiaalimittaus on hyödynnettävissä lähinnä silloissa ja parkkirakennuksissa kloridikorroosion laajuuden selvittämiseen. ^[1, s.104]

Betonin kimmoasaramittaus perustuu betonin pinnan kimmoisuuden ja puristuslujuuden väliseen riippuvuuteen. Kimmoasara on betonin lujuustestaukseen tarkoitettu laite, jolla voidaan mitata ainetta rikkomatta kovettunutta betonia. Kimmoasaralla saatavat puristuslujuuden arvot ovat vain suuntaa-antavia. Ongelmaksi muodostuu myös pinnan karbonatisoituminen, joka vähentää pinnan kimmoisuutta merkittävästi. Lisäksi kimmoasaramittaus ei kerro juuri mitään syvemmillä betonissa tapahtuvasta rapautumisesta. ^[1, s.104]

5 Kuntotutkimusprojekti

Tutkimuksen sisällön määräytymiseen vaikuttavat kohderakennuksen ominaisuudet (esimerkiksi rakennetyypit, rakennusmateriaalit, rasitusolosuhteet ja näkyvät vauriot) ja tutkimuksen tavoitteet. Edellä mainittujen lähtötietojen selvityksellä saadaan nopeasti alustava käsitys kohteella mahdollisesti esiintyvistä vauriotavoista ja niiden merkityksestä. Kuntotutkimuksen sisältö määräytyy usein ongelmalähtöisesti, eli ensin selvitetään mahdolliset ongelmat kohteen rakennetyypeissä ja rasitusoloissa, ja niiden perusteella määräytyy tutkimuksen sisältö, eli mitattavat suureet, käytettävät havainnointimenetelmät ja otosten laajuus. Sisällön määräytymiseen vaikuttavat myös asetetut rajoitukset ja käytössä olevat resurssit. Kuntotutkimuksen tulosten perusteella tulee pystyä määrittämään soveltuvat korjaustoimenpiteet. ^[1, s.55]

Kuntotutkimusprojektin vaiheet voidaan jakaa karkeasti seuraavasti:

- Lähtötietojen kerääminen
 - aistinvarainen katselmus kohteella
 - tutkimuksen tavoitteiden selvitys
 - lähtötietomateriaalien tarkastelu
- Alustava tilannearvio ja tutkimustarpeiden määrittäminen
 - rakennetyypit ja niiden kunto
 - korjausmahdollisuuksien alustava selvitys
- Alustava tutkimussuunnitelman teko
- Kuntotutkimuksen kenttätyöt ja tutkimukset
 - kohteella tehtävä aistinvarainen kartoitus

- näytteenotto
- laboratoriotutkimukset
- Raportointivaihe
 - havaintojen esitys valokuvien avulla
 - vaurioiden syiden arviointi ja tyyppin, laajuuden ja asteen määrittäminen
 - toimenpide-ehdotukset ^[1, s.55]

5.1 Tarjousvaihe

Kuntotutkimusprojekteissa tehdyn tutkimuksen laajuus ja selvitysten perusteellisuus on osittain sidottu tutkimuksen budjettiin ja tilaajan toiveisiin. Tarjouspyyntövaiheessa kuntotutkimustarjousista valitaan useimmiten edullisin tarjous, mikä johtaa usein tutkimuksen supistamiseen hinnan alentamiseksi. Hyvin tehty tarjouspyyntö antaa tarpeeksi tarkat reunaehdot tarjouksen tekemiselle, jotta tarjoavat yritykset ovat tarjousten sisällön suhteen samalla lähtöviivalla. Mitä tarkemmin tarjouspyynnössä on määritelty tutkimuksen sisältöä, sitä vähemmän tarjouksissa voidaan olettaa olevan poikkeavuuksia keskenään.

Tarjousvaiheessa tulee pohtia alustavasti vähintään

- arvio työmenekistä kaikissa kuntotutkimuksen vaiheissa
- näytemäärä ja näytteistä tehtävät laboratoriotutkimukset
- mahdolliset kattavuutta heikentävät tekijät, esimerkiksi alueet, joita ei voida tutkia henkilönostimen avulla
- alustava tutkimussuunnitelma.

Kiinteän kokonaispalkkion laskemiseksi on tärkeää, että jo tarjousvaiheessa saadaan hahmotelma tutkimuksen laajuudesta. Jokainen tehtävä tutkimus on yksilöitävä omanlaisekseen, minkä vuoksi hyvän tarjouksen antamiseksi on usein tarpeen tehdä kohdekäynti ennen tarjouksen tekemistä.

5.2 Esiselvitysvaihe

Esiselvitysvaiheessa kartoitetaan rakennuksen tai sen osan tutkimustarvetta hankkimalla tietoa mahdollisimman monipuolisesti kuntotutkimuksen sisältöön vaikuttavista tekijöistä. Kuntotutkimuksen sisällön suunnittelu on suositeltavaa aloittaa etsimällä kohderakennuksen suunnitteluasiakirjat. Kuntotutkimuksessa hyödyllisimpiä ovat julkisivupiirustukset, leikkauspiirustukset ja tutkittavia rakenteita koskevat rakenne- ja elementtipiirustukset. Piirustuksia tutkimalla voidaan saada selkeämpi käsitys kohteen rakennetyypeistä ja rakenteisiin mahdollisesti liittyvistä ongelmista ja toimivuuspuutteista. Ongelmaksi suunnitteluasiakirjojen tutkimisessa saattaa muodostua, ettei kohteen rakenteita välttämättä ole toteutettu täysin niiden mukaan. [1, s.64]

Lähtötiedoista voidaan selvittää esimerkiksi tutkittavan kohteet rakennetyypit, käytetyt materiaalit, rakennuksen ilmansuunnat ja erilaiset rakenneliittymät.

Esiselvitysvaihe ja tarjousvaihe ovat monin paikoin päällekkäisiä työvaiheita kuntotutkimusprojektissa. Mitä paremmin esiselvitysvaiheen tekee tarjousvaiheessa, sitä tarkemmin on mahdollista hallita muuttujia projektissa. Kuitenkin oikeasti kattavan esiselvitysvaiheen teko tarjousvaiheessa edellyttäisi erillispalkkion maksamista.

Esiselvitysvaiheessa laaditaan myös tutkimussuunnitelma. Tutkimussuunnitelmassa ei usein vielä tässä vaiheessa voida määritellä tarkkoja näytteenottopaikkoja, sillä ne tarkentuvat kenttätöiden yhteydessä aistinvaraisten havaintojen perusteella. Tutkimussuunnitelmaan tulisi sisältyä kuvaus seuraavista asioista

- tutkittava rakennus, tai sen osa ja rakennuksen korjaushistoria

- tutkittava rakenne ja/tai järjestelmä
- potentiaaliset vauriomekanismit ja rakenteiden toimivuuspuutteet
- tutkimuksen tavoite
- käytettävät menetelmät
- nostokalusto ja sen rajoitukset esimerkiksi maaston tai kulun osalta
- näytteenoton tarpeellisuus, näytemäärät ja tehtävät laboratorioanalyysit
- käytettävät tutkimuslaboratoriot [6, s.108]

5.3 Kenttätyöt

Kenttätyöt tehdään lähes aina nostokoriautosta käsin. Kenttätutkimukseen sisältyy aistinvarainen katselmointi, näytteenotto, tietyt kenttämittaukset ja rakenteen vasarointi tai koputtelu rakennetyypistä riippuen. Aistinvaraisessa katselmoinnissa tarkastellaan tutkittavia rakenteita pääpiirteittäin ja pyritään arvioimaan rakennuksen yleisilmettä, arvioimaan mahdollisten vaurioiden syytä ja laajuutta sekä tekemään yleishavaintoja rakenteiden kunnosta ja teknisestä käyttäjästä. Lisäksi kartoitetaan kosteusteknisiä toimivuusriskejä, esimerkiksi räystäsrakenne sekä sokkelin saumaukset. Näytteenoton paikat tarkentuvat usein aistinvaraisen katselmuksen tulosten perusteella. Rakenteesta riippuen kuntotutkimuksessa kenttätöihin sisältyy kopokartoitus tai vasarointi, sekä betonirakenteissa usein myös peitepaksuuden mittaaminen.

Kenttätöissä tulee betonijulkisivuissa selvittää raudotteiden korroosio-tilannetta korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Yleensä pelkkä korroosiovaurioiden olemassaolon toteaminen ei riitä, vaan tulee pystyä arvioimaan korroosiovaurioiden vaikutusta rakenteiden toimintaan jatkossa. Korroosion syy (karbonatisoituminen vai kloridit), etenemisen vaikutus rakenteen kantavuuteen, olemassaolevien vaurioiden laajuus ja

silmämääräiset havainnot ovat pääasialliset selvittävät asiat korroosiovaurioita tutkiessa. [1, s.65-66]

Toinen merkittävä asia, joka betonijulkisivuissa on selvittävänä, on betonin rapautuminen. Betonin rapautumista määrittäessä tulee selvittää

- rapautumisen syy, eli onko kyseessä ettringiittireaktio, paikallinen kosteusrasitus, yleinen pakkasrasitus, alkali-kiviainesreaktio tai esimerkiksi elementin valmistusvirhe
- rapautumisen aste, laajuus ja sijainti
- rapautumisen vaikutus turvallisuuteen ja kantavuuteen
- rapautumisen eteneminen tulevaisuudessa [1, s.67]

Kenttätöihin sisältyy lisäksi

- kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen vaurioiden tutkimista
- tutkittavan rakenteen ja siihen liittyvien rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden selvittäminen
- pintatarvikkeiden vaurioiden selvitys
- pintakäsittelyn vaurioiden selvitys
- rakenteen halkeilun ja muodonmuutosten syiden selvitys
- mahdollisten aiempien korjausten tarkastelu
- terveydelle ja ympäristölle haitallisten aineiden ja yhdisteiden tutkiminen [1, s.69-74]

Rapatuissa julkisivuissa on suositeltavaa myös tarkastaa alustastaan irronneen rappauksen osuus koko rappausalasta. Rappauksissa myös halkeilun ja lohkeilun määrän ja syyn selvitys on erityisen suuressa roolissa kenttätöiden osuudella.

5.4 Näytteenotto ja laboratoriotutkimukset

Näytteenotto tapahtuu kenttätöiden aikana. Näytteenoton voi tehdä joko kuntotutkija itse, tai ulkopuolinen timanttitorari aliurakkana. Näytemääriin vaikuttaa mm.

- valittu kuntotutkimusluokka (P-luokka eli perustason kuntotutkimus, tai L-luokka eli laajempi kuntotutkimus)
- erilaisten rakennetyyppien määrä
- rakennusten määrä ja koko
- haluttu tutkimuksen kattavuus

Näytteenotto ja laboratoriotutkimukset ovat kuntotutkimuksen kustannuksiltaan suurimpia vaiheita. Näytteenotossa tärkeintä on saada mahdollisimman kattava kuva rakennuksen kunnosta, minkä vuoksi näytteitä tulee ottaa tarvittava määrä mahdollisimman laajalti. Näytteitä ei siis tule kohdistaa kaikista heikoimpiin tai kaikista parhaiten säilyneisiin kohtiin.

Näytteitä käsitellessä voidaan lisäksi kohdistaa paremmin tutkimuksia näytteiden soveltuvuuden mukaan. Esimerkiksi vetokokeen tekeminen näytteeseen, jossa on korroosiotilassa oleva teräs, ei todennäköisesti anna realistista kuvaa rakenteen kunnosta. Sen sijaan mikrorakennetutkimuksia teräs ei haittaa lainkaan. Kohteen ominaisuuksien perusteella tulee lisäksi miettiä, onko riskiä esimerkiksi kloridikorroosiolle. Rakennusvuosi ja korjaushistoria taas vaikuttavat merkittävästi asbestinäytteiden ja sauma-ainenäytteiden tarpeeseen ja määrään.

5.5 Raportointivaihe

Kun kenttä- ja laboratoriotutkimukset ovat valmistuneet, kootaan havainnot ja tulokset yhteen. Tässä kohtaa voidaan arvioida tutkitun rakenteen kuntoa, analysoida laboratoriotutkimusten tuloksia, tehdä johtopäätökset ja raportoida tutkimus. Tyypillisiä tulosten analysointivaiheen tehtäviä ovat

- kentällä tehtyjen tutkimusten tulosten analysointi
- otettujen valokuvien purku ja jäsenitys
- näytteiden aistinvarainen tarkastelu ja laboratorioanalyysit
- johtopäätösten muodostaminen rakenteen kunnosta, vaurioitumisesta ja sen etenemisestä
- toimenpide-ehdotukset
- tutkimustulosten raportointi tilaajalle. [6, s. 109-110]

Kuntotutkimusraporttiin sisällytetään kuntotutkimuksessa kertyneet tiedot ja niiden pohjalta muodostetut johtopäätökset. Raportin tarkoituksena on välittää tutkimuksen tulokset tilaajan käyttöön ja tallentaa kaikki tarpeellinen informaatio jatkoa, yleensä kunnossapitoa ja/tai korjaussuunnittelua varten. Muille kuin korjausrakentamiseen perehtyneille on lisäksi tarpeen esittää selvitys vauriomekanismeista ja niiden tutkimusmenetelmistä. Asunto-osakeyhtiön osakkaille on suositeltavaa tehdä pieni yhteenveto raportista, sillä pitkän ja yksityiskohtaisen raportin informaatioarvo perehtymättömälle lukijalle jää usein pieneksi. Näin ollen raportti tulee aina kirjoittaa niin, että siinä otetaan huomioon lukijan perehtyneisyys ja ammattimaisuus. Raporttia laadittaessa tulee ottaa huomioon, että raporttia saattavat lukea myös sellaiset henkilöt, joille kohde ei ole ennestään tuttu. [1, s.117]

Kuntotutkimusraporttiin tulee kirjata kaikki kuntotutkimuksen aikana kertyneet tiedot, joilla voi olla vaikutusta rakennuksen kunnossapitoon tai korjaussuunnittelussa tehtäviin

valintoihin. Raportointi tulisi tehdä mahdollisimman selkeästi ja johdonmukaisesti. Raportissa ei saa ottaa kantaa faktana sellaisiin asioihin, joita ei ole selvitetty, vaan ne tulee tällöin esittää oletuksina. Tulosten mahdollinen epävarmuus tulee aina tuoda ilmi.

[1, s.117]

Kuntotutkimusraportin sisältö seuraa pääosin seuraavanlaista kaavaa:

- Tiivistelmä, sisältäen tutkimuksen keskeisimmät lopputulokset
- Sisällysluettelo sisältäen sivunumerot
- Kohteen yleistiedot
- Tutkimuksen sovitut tavoitteet ja rajaukset
- Tutkittujen vaurioiden esittely
- Kuntotutkimuksessa suoritettut toimenpiteet ja käytetyt tutkimusmenetelmät
- Havainnot ja mittaustulokset ja niiden tarkastelu rakenneosittain
- Johtopäätökset rakenteiden kunnosta ja vaurioista, sekä niiden aiheuttajasta
- Rakennuksen turvallisuutta ja terveellisyyttä heikentävät tekijät
- Soveltuvat toimenpidevaihtoehdot ja niiden tarkastelu
- Lisä- ja jatkotutkimustarve, mikäli sellaista on
- Liitteet, yleensä laboratoriotutkimusraportti ja vaurio/näytteenottokartta [1, s. 117-118, 6, s. 160]

6 Tulokset

Tässä kappaleessa käydään läpi kootusti, mitä erityispiirteitä on esimerkiksi rapatun julkisivun tutkimisessa, tai parvekkeiden tutkimisessa ja pohdintaa täydennetään työelämässä vastaan tulleilla case-esimerkeillä. Tiedot on kerätty työelämässä projekteissa tapahtuneina oppimistapauksina ja tämän opinnäytetyön kirjallisuuskatsauksessa, kun materiaaliin on pitänyt tutustua syvemmin.

6.1 Rapatut julkisivut

Rapattujen julkisivujen erityispiirteistä kuntotutkijan näkökulmasta tarkasteltuna ensimmäisenä tulee vastaan projektin alkuvaiheessa tutkimusten standardoimattomuus. Aiemmin tässä työssä on tullut ilmi, että alustava tutkimussuunnitelma tulisi luoda jo tarjousvaiheessa. Kuitenkaan betonirakenteisiin julkisivuihin verrattuna rapatuille julkisivuille ei ole luotu betonijulkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimuksia koskevaa by 42 tilaajan ohjeen ^[8] kaltaista dokumenttia, joissa annetaan ohjeellinen laskentakaava näytteille ja niiden määrille. Laskentalomakkeet ovat tämän opinnäytetyön liitteenä.

Rapattujen julkisivujen tapauksessa siis tarjousvaiheessa näytemäärä saattaa olla vielä tutkijalle itselleen mysteeri. Tästä syystä rapattujen julkisivujen kilpailuttaminen johtaa helposti vertailukelvottomiin tarjouksiin, jollei sisällytettävää näytemäärää ole tarjouspyynnössä erikseen mainittu.

Sen sijaan rapatuista julkisivuista otettavaan näytemäärään vaikuttavat runsaasti aistinvaraiset havainnot kohteella. Näytemäärä ja näytteenottotarve yleisesti riippuu paljolti rappauksessa esiintyvän halkeilun määrästä, kopokartoituksen perusteella ilmenevästä ”kopon”, eli alustastaan irronneen rappauksen määrästä. Kopokartoituksen

osalta tulee ottaa huomioon, ettei se sovellu eriste- tai levyrapattuihin julkisivuihin. Kopokartoitus on riski myös harkkoalustoilla, sillä harkkojen irtoaminen alustastaan saattaa vääristää tuloksia.

Eriste- ja levyrapattujen julkisivujen tutkiminen pohjautuu laajalti aistinvaraisiin havaintoihin. Eriste- ja levyrapattujen julkisivujen toimenpidesuosituksissa on ongelmana myös, ettei niihin tehtyjen korjauksien vaikutuksista ole tutkimusdataa. Näistä syistä ei voida sanoa, minkä verran esimerkiksi paikkakorjauksilla tai uudelleenpinnoituksella voidaan saada lisää aikaa rakenteelle.

Rapatuissa rakenteissa on kuitenkin suositeltavaa selvittää verkotuksen olemassaolo ja sijainti rappauksessa. Eriste- ja levyrapatuissa julkisivuissa käytetään muovipintaista lasikuituverkkoa, kun taas kovalle pohjalle tehtyihin rappauksiin käytetään sinkittyä teräsverkkoa.

Kuten muissakin rakenteissa, myös rapatuissa julkisivuissa lähtötietojen läpikotainen tarkastelu on avainroolissa hyvän tutkimuksen aikaan saamiseksi. Rapatuissa julkisivuissa on yleistä, että korjaustoimenpiteissä uusitaan vain ulomainen rappauskerros ja pinta maalataan, jolloin aistinvaraisesti tarkasteltaessa rakenne näyttää uudenveroiselta. Korjaushistorian tietämys ennen tutkimuksen tekoa on tämänkaltaisten seikkojen vuoksi tärkeää.

Rappauksen halkeilua ja alustastaan irronneita alueita tarkasteltaessa tulee aina muistaa, että rappaukseen muodostuu aina jonkin verran halkeilua ja ”kopoa”. Suomen Betoniyhdistys r.y:n julkaisussa *Rappauskirja 2005 by 46* ^[4] on liitteenä suunnitteluluokkia, missä on määritetty sallittu määrä halkeilua rakennuksen julkisivuneliötä kohden. Määrän lisäksi tulee huomioida halkeamien koko ja laatu.

Rapattuja julkisivuja tutkiessa tulee kiinnittää erityishuomiota pinnoitteiden ja maalien vaurioitumiseen. Pinnoitteiden vauriot altistavat rappauslaastin vaurioille ja epäjatkuvuuskohdissa muodostuu ongelmia rakenteen kosteustekniselle toimivuudelle. Väärän pinnoitteen valitseminen altistaa myös laastin ongelmille. Ongelma on rapatuissa julkisivuissa betonijulkisivua suurempi, sillä rappaus huokoisena materiaalina imee vettä merkittävästi nopeammin ja enemmän.

Rappauksen kopokartoitusta tehdessä saattaa syntyä virheitä myös alustan vaurioitumisesta. Esimerkiksi kaasubetoniharkkojen päälle rapatessa on yleistä, että kaasubetoniharkkojen vaurioituminen ja irtoaminen vaikuttaa rappauksen irtoamiselta seinää koputellessa. Toinen kopokartoituksen virhetekijä saattaa olla uuden pintarappauksen teko sementtilaastilla. Tällöin kalkki-sementtilaastia kovempi, sementtilaastilla tehty pintarappaus saattaa aiheuttaa virhettä kopokartoitukseen, sillä alustastaan irronnutta kalkki-sementtirappausta ei välttämättä havaita. Toisaalta kovempi pintarappaus saattaa muodonmuutosten vuoksi irrota kalkki-sementtirappauksesta ja aiheuttaa näin virhettä kopokartoituksessa, kun pintarappaus irtoaa täyttörappauksesta.

Rapatuissa julkisivuissa on lisänä aina mahdollisuus alustan vaurioitumiseen itse rappauksen lisäksi. Alustan vauriot välittyvät rappauskerrokseen yleensä varsin hyvin. Alustan vaurioitumisessa tulee tutkimusvaiheessa ottaa lisäksi huomioon alustan tyyppi ja mahdolliset erot alustoissa. Esimerkiksi eristerapatun ja kovalle alustalle rapatun julkisivun alustojen saumakohtaan muodostuu usein halkeamia.

Rappauslaasti hiekkautuu lopulta aina, kun rakenteen tekninen käyttöikä lähenee loppuaan, vaikka kaikki toimenpiteet olisi tehty oikein pinnoitteiden kunnossapidosta alkaen.

6.1.1 Case-esimerkki 1. Turkulaisen koulurakennuksen rapatun julkisivun kuntotutkimus

Kesällä 2021 tutkittiin Turussa sijaitsevan koulurakennuksen julkisivurakenteet. Kohteen rappaus oli tehty tiilimuurauksen päälle. Lähtötietojen perusteella etelä- ja itäjulkisivujen rappaus oli uusittu kokonaisuudessaan kertaalleen aiemmin ja pohjois-, sekä länsiseinien julkisivujen pintarappaus oli uusittu samassa yhteydessä.

Tilajalle ehdotettiin alustavana tutkimussuunnitelmana aistinvaraista tarkastelua ja kopokartoitusta, minkä perusteella päätetään otettavien näytteiden määrä.

Kohde kartoitettiin aistinvaraisesti arvioiden, kopokartoittamalla ja kolmen ohuthienäytteen avulla. Etelä- ja itäseinillä ei todettu merkittäviä alustastaan irronneita

alueita. Sen sijaan länsi- ja pohjoisseinillä havaittiin merkittävän suuria alueita alustastaan irronnutta rappautusta. Näillä julkisivuilla havaittiin kosteusteknisiä toimivuuspuutteita räystäällä ja laajoja pinnoitteen vaurioita.

Länsi- ja pohjoisseinustalta otettiin poralieriönäytteet, joista tehtiin petrografiset ohuthieet laboratoriossa. Ohuthietutkimukset vahvistivat aistinvaraisia tutkimuksia, sillä molemmissa näytteissä todettiin sideaineen liukenemistä ja runsaasti harvatiiloja täyttörappauskerroksessa. Rappauslaastin lujuusominaisuuksien todettiin olevan heikot.

Toimenpidesuositukseksi annettiin länsi- ja pohjoisjulkisivujen rappauksen uusiminen kokonaan. Itä- ja eteläjulkisivuille suositeltiin huoltomaalausta ja varmistusta lisänäytteiden avulla siitä, että rappaus on aiemmissa korjauksissa uusittu pohjaa myöden. Ikkunoille suositeltiin peruskorjausta.

6.1.2 Case-esimerkki 2. Asuinkerrostalon rapatun julkisivun kuntotutkimus

Keväällä 2019 tutkittiin Turussa sijaitsevan asunto-osakeyhtiön yksittäisen rakennuksen vaurioiden syytä. Rakennus oli betonirunkoinen, lämmöneristeenä ja rappausalustana toimi kaasubetoniharkko (Siporex). Kohteella oli raportoitu yhden nurkan rappauksen halkeilua ja pinnoitteen värimuutoksia. Nostinteknisistä syistä rakennusta ei tutkittu kokonaisuudessaan, vaan tutkittiin vain itä- ja eteläjulkisivut.

Alustavana tutkimussuunnitelmana oli aistinvarainen kartoitus ja kopokartoitus. Havaintojen pohjalta määritettiin, onko tarvetta näytteenotolle, ja työn tarjoukseen sisällytettiin 2 kappaletta ohuthienäytteitä.

Nostimesta käsin tarkasteltuna havaittiin yksittäinen suurehko halkeama rakennuksen kaakkoisnurkassa. Kohteelle oli tehty aiempia rappauslaastin paikkakorjauksia, jotka olivat kohteella havaittavissa laastin pinnan tekstuurin erona. Uusi rappaus oli harjattu tiheimmällä harjalla kuin alkuperäinen. Halkeama oli syntynyt paikkakorjausten työsaumaan.

Näytteitä otettiin tarjouksessa esitetyt kaksi kappaletta. Yksi näyte otettiin uudelta rappausalueelta ja toinen alkuperäisestä rappauksesta. Rappauksessa havaittiin harvatiloja tartunnassa alustaansa.

Rappauksen halkeilun syyksi arvioitiin rappausalustana toimivan kaasubetoniharkon (Siporex) muodonmuutosten aiheuttamien pakkovoimien johtaneen harkon katkeamiseen, mikä on johtanut myös rappauksen halkeiluun. Muodonmuutoksia aiheutuu kosteusteknisistä toimivuuseroista rakenteiden välillä. Alueen rappauksia on korjattu aiemmin osittain, mutta halkeama on uusiutunut työsaumaan.

Myöhemmin todettiin rappauksen purkutyön jälkeen kaasubetoniharkkojen olevan erittäin huonokuntoisia halkeaman alueella. Kaakkoisnurkkaan uusittiin rappauksen lisäksi kaasubetoniharkkoja useamman neliön alueelle.

6.2 Betonijulkisivut ja parvekkeet

Betonijulkisivujen tutkiminen on rapattuihin verrattuna hieman standardoidumpaa. Betonijulkisivujen näytemäärään on mahdollista laskea ohjeellinen minimimäärä *by 42 Tilaajan ohjeen* ^[8] mukaan.

Tarjouspyyntövaiheessa on mahdollista, että tilaaja on laskenut *by 42 Tilaajan ohjeen* ^[8] taulukon avulla näytemäärät ja näin pyytää mahdollisimman vertailukelpoisia tarjouksia. Useimmiten kuitenkin tarjouspyyntövaiheessa pyydetään tarjoamaan kuntotutkijan näkemyksen mukaan riittävää näyteotantaa, mikä helposti johtaa näytteiden alimitoitukseen, jotta työ tilattaisiin todennäköisimmin. Matalampi näyteotanta usein johtaa liian suuriin yleistyksiin rakenneosittain ja riittämättömään kattavuuteen tutkimuksessa. Kun näytemäärää ei ole vakioitu tarjouspyyntövaiheessa, ovat tarjoukset myös helposti vertailukelvottomia keskenään.

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden tutkimuksissa merkittävimpiä eroavaisuuksia luovat muun muassa

- Pintakäsittely tai pintatarvikkeet

- Maalattu pinta, paljas betonipinta, pinnoitteen kunto, klinkkerilaatta, tiililaatta
- Betonin lujuus ja ominaisuudet
 - Betonin lujuusominaisuudet vaikuttavat esimerkiksi karbonatisoitumisnopeuteen. Betonin suojaahuokostus vaikuttaa betonin pakkasenkestävyyteen. Kuitenkin suojaahuokostamattomatkin betonit voivat kestää pakkasta hyvin, mikäli ne ovat korkealujuuksisia ja tiiviitä betoneita.
- Näytemäärä, valittavat analyysit ja porausnäytteiden ominaisuudet
 - Tutkimuksen kattavuus kärsii merkittävästi, jos näytemäärästä on tingitty tarjouskilpailun voittamisen toivossa. Riittävällä näytemäärällä tulee lisäksi huomioida, mitä analyysseja valitaan. Lähdekirjallisuuden mukaan vähintään 1/3 analyyseistä tulisi olla ohuthietutkimuksia.
 - Analyysien valintaan vaikuttaa kuitenkin myös näytteiden kunto ja ominaisuudet. Huonokuntoisesta ja silminnähdessä rapautuneesta näytteestä ei välttämättä ole tarpeen tehdä tutkimuksia, kun kunto voidaan aistinvaraisesti arvioida erittäin huonoksi.
 - Näytelieriö saattaa sisältää myös isoja runkoainerakeita tai useamman teräksen, milloin vetokokeen teko koko lieriön matkalta aiheuttanee huonon vetolujuustuloksen, kun murtuma tapahtuu terästen, tai ison runkoainerakeen kohdalta. Pintatarvikkeellisissa rakenteissa tulee ottaa huomioon, että vetokoetta ei yleensä ole tarpeen tehdä koko näytteen matkalta, vaan ainoastaan betoniosuudesta. Pintatarvike usein on tartuntalujuudeltaan heikompi, kuin betonin vetolujuus.
 - Ohuthietutkimusta varten on mahdollista liimata esimerkiksi poratessa hajonneita näytteitä tarvittaessa.

- Parvekkeita tutkiessa tulee ottaa huomioon, että parvekelaattojen, -kaiteiden ja -pieli/väliseinien peitepaksuusmittaukset ja karbonatisoitumissyvyydet tulee aina tutkia molemmin puolin rakennetta.
- Kloridianalyysien osalta on tärkeää pohtia tarpeellisuutta ja määrää tapauskohtaisesti. Meren lähetyillä kloridirasitusta saattaa olla rakenteessa, mutta esimerkiksi kaupunkialueilla kloridien toimenpiderajan ylittyminen rakenteissa on harvinaista. Sen sijaan autohalleissa ja liikennöidyillä pihakansilla kloridirasitusta saattaa esiintyä, sillä autojen renkaat kuljettavat tien sulanapitoon käytettävää suolaa liikennöidyille pinnoille.
- Saumamassojen lyijy ja polyklooratut bifenoliyhdisteet (PCB) on suositeltavaa tutkia uusituistakin saumamassoista. On todettu tapauksia, joissa haitta-aineet ovat imeytyneet betonielementtien reunoihin ja siitä takaisin uusiin saumamassoihin. Yhtenä riskitekijänä on myös puutteellinen vanhojen saumamassojen poisto.

6.2.1 Case-esimerkki 3. Asunto-osakeyhtiökohteen julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus

Syksyllä 2020 tehtiin julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus Turun lähiöalueella sijaitsevaan, kahden asuinkerrostalon asunto-osakeyhtiöön. Kohteen huoneistoparvekkeet olivat ulosvedettyjä, välipohjalaattoihin tukeutuvia parvekkeita. Huoneistoparvekkeiden lisäksi kohteella oli tuuletusparvekkeita, jotka oli toteutettu samalla tuentatavalla. Julkisivut olivat osin valkobetonisia, maalattuja sandwich-elementtejä, osin tiililaattapintaisia sandwich-elementtejä.

Aistinvaraisesti tarkasteltaessa yksittäisessä tiililaattapintaisessa elementissä todettiin lievää kaareutumista ja elementin reuna-alueen halkeilua. Valkobetonisissa elementeissä ei havaittu näkyviä vaurioita. Pinnoite oli hyväkuntoinen. Parvekelaatat olivat vedeneristepinnoittamattomia. Parvekelaattojen yläpinnoissa todettiin paikoin alkavaa rapautumista. Lisäksi ikkunoiden ulkopuolisten puuosien pinnoite oli monin paikoin hilseillyt pois. Vesipeltien pinnoite oli erityisesti etelä- ja länsiseinustoilla irronnut

lähes kauttaaltaan. Julkisivuelementtien elementtisaumaukset olivat osin kovettuneita ja alustastaan irronneita, erityisesti rakennuksen yläosissa.

Valkobetonisissa julkisivuelementeissä ei todettu merkittäviä vaurioita, joskin karbonatisoitumissyvytydet olivat hieman vastaavan ikäisiin rakennuksiin verrattuna normaalia pidemmälle edenneitä. Tiililaattapintaisten julkisivuelementeissä sen sijaan todettiin taustavalukerroksen läpikarbonatisoitumista ohuen rakennepaksuuden vuoksi. Yksittäisessä näytteessä todettiin lievää pakkasvaurioitumista. Parvekelaatoissa todettiin voimakasta karbonatisoitumista laatan alapinnassa.

Valkobetonisissa julkisivuelementeissä ja parvekelaatoissa havaittiin betonin olevan suojuhuokostettua. Sen sijaan tiililaattapintaisten julkisivuelementtien betoni on suojuhuokostamatonta. Vetolujuustulosten perusteella parvekelaatoissa on havaittavissa alkavaa rapautumista. Julkisivuelementtien vetolujuustulokset taas eivät osoittaneet merkkejä rapautumisesta. Vetolujuuskokeita tehtiin yhteensä 8 kappaletta ja ohuthietutkimuksia yhteensä 6 kappaletta.

Toimenpide-ehdotuksina suositeltiin parvekkeille parvekelaattojen vedeneristepinnoitusta ja optiona parvekkeiden lasitusta, sillä ulokeparvekkeet ovat täysin sääoloille alttiita. Ikkunoille suositeltiin ulkopuolisten puuosien maalausta ja vesipeltien uusimista. Julkisivuille suositeltiin elementtisaumojen uusimista ja valmistautumista tulevaisuudessa verhoukorkorjauksiin, kun tiililaattapintaisten julkisivuelementtien vaurioituminen etenee.

6.2.2 Case-esimerkki 4. Asunto-osakeyhtiökohteen vaurioituneen julkisivuelementin selvitys ja julkisivujen kuntotutkimuksen päivitys

Vuoden 2021 keväällä yritykseltä tilattiin yhden rakennuksen osittainen julkisivujen kuntotutkimus. Kohteena oli Kaarinassa sijaitseva yhden lamellityyppisen asuinkerrostalorakennuksen asunto-osakeyhtiö. Kohteelle on tehty kattava kuntotutkimus vuonna 2005, minkä jälkeen toimenpidesuosituksen mukaisesti rakennuksen päätyjen pesubetonielementtien ulkokuoret verhottiin eristerappausjärjestelmällä. Eristerappausjärjestelmällä verhottuja julkisivuja ei tutkittu kyseisen projektin yhteydessä. Rakennuksen pitkät sivut ovat pinnoitettua betonia.

Kohteella havaittiin yksittäisen elementin voimakasta näkyvää halkeilua C-portaan sisäänkäynnin vierellä. Muilta osin julkisivut vaikuttivat maantasolta tarkastellessa olevan suhteellisen hyväkuntoisia. Nostinautolla kuljettaessa havaittiin yksittäisiä vauriokohtia julkisivuilla. Elementtisaumoissa havaittiin, ettei tuuletuskoteloiden kohdilta ole uusittu saumoja viimekertaisen saumojen uusimiskorjauksen yhteydessä, sillä tuuletuskoteloiden ympärillä oli kovettunutta ja halkeilevaa massaa.

Pitkien sivujen julkisivuelementeistä porattiin yhteensä 6 kappaletta poralieriönäytteitä. Näytteille tehtiin 2 kappaletta vetokokeita, 4 kappaletta ohuthieanalyysyjä, sekä 6 kappaletta karbonatisoitumissyvyyden määrytyksiä. Lisäksi karbonatisoitumissyvyyksien määrytykset yhdistettiin kohteelta otettuihin peitepaksuusmittauksiin.

Vetokoetulokset eivät viitanneet betonin rapautumiseen. Karbonatisoitumissyvyydet ovat edenneet hieman vuoden 2005 kuntotutkimuksesta, mutta menevät edelleen linjassa karbonatisoitumiskertoimen kanssa. Suurta riskiä betoniterästen laajalle korroosiovaurioitumiselle ei ole. Vaurioelementissä todettiin voimakasta pakkashalkeilua ja huokosten seinämien ettringiittikiteytymiä ohuthietutkimuksessa.

Todettiin, ettei silmämääräisesti havaittavaa vaurioelementtiä lukuunottamatta ole tarvetta akuuteille toimenpiteille. Vaurioelementin osalta voidaan harkita elementin ulkopinnan verkottamista, jotta tulevaisuudessa irtoavat betonikappaleet eivät aiheuta turvallisuusriskiä rakennuksen käyttäjille.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä käsiteltiin tavanomaisimpia rakennusteknisissä kuntotutkimuksissa käsiteltäviä rakenteita. Betoniset julkisivurakenteet ja parvekkeet, sekä rapatut julkisivut ovat yleisiä kuntotutkimusprojektien kohteita. Ensimmäinen kuntotutkimus rakennukselle on suositeltavaa tehdä 20...25 vuoden iässä ja kuntotutkimuksen päivityksiä noin 10 vuoden välein.

Betonirakenteiden kuntotutkimuksiin on luotu rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan pätevyksiä toteavan FISE Oy:n toimesta tarvelähtöinen pätevyys, mihin on asetettu koulutusvaatimuksia, työkokemusvaatimuksia, kuntotutkijan koulutuskurssi, kurssin päätteeksi tentti, sekä lopuksi pätevyyden toteamiseksi hakemuksen teko, johon sisältyy työnäytteitä ja todistukset aiempien vaatimusten täyttämiseksi. Sen sijaan rapattujen julkisivujen tutkimiselle ei ole luotu pätevyyttä.

Tässä opinnäytetyössä on kirjallisuuskatsausosuudessa käyty läpi kaikki merkittävimmät vaurioitumismekanismit. Lähteinä on käytetty Betoniyhdistyksen kirjallisuutta. Vaurioitumistapojen käsittelyn jälkeen on esitetty, miten eri rakenteiden vaurioita voidaan tutkia kenttätyön yhteydessä, sekä sen jälkeen myös laboratoriossa näytteiden poraamisen avulla. Koko kuntotutkimusprojektin kulku on esitetty vaihekohtaisine tehtävineen.

Kappaleessa 6 (Erialaisten rakenteiden vaikutus kuntotutkimusprojektissa) on esitetty, millaisia asioita tässä työssä tehdyn kirjallisuuskoonnin ja käytännön kokemuksen perusteella tulisi ottaa huomioon ensin rapattujen julkisivujen tutkimusten osalta ja sen jälkeen betonirakennetutkimuksissa. Lisäksi kappaleeseen on otettu case-esimerkkejä työelämästä. Case-esimerkkeihin valittiin mahdollisimman erilaisia kohteita niin, että perehtymättömällekin lukijalle muodostuu käsitys, että jokainen tutkimus on tavoitteiden, rakenteiden, tutkimustapojen ja lopputulosten osalta yksilöllinen.

Tähän opinnäytetyöhön kerättyjen tietojen pohjalta tehdään vielä uudet raporttimallipohjat RTC Vahanan Turku Oy:n yritykselle. Nykyisellään raportointiin kuluva aika kasvaa, kun yksittäistä hyvää pohjaa ei ole, missä olisi otsikkotasoiltaan, vertailuarvoineen ja perusteksteineen kattava paketti. Pohjat tehdään erikseen rapatuille

julkisivuille ja betonirakenteisille julkisivuille. Lisäksi parvekkeiden osuus lisätään molempiin pohjiin.

Tiiviisti kerätyn tietopohjan vuoksi tätä työtä voi käyttää myös suhteellisen kattavana tietopakettina uudempien kuntotutkijoiden perehdytyksessä.

Tulevaisuudessa ilmastonmuutos tulee aiheuttamaan entistä suurempaa rasiutusta julkisivu- ja parvekerakenteille. Jäätymis-sulamissyklien määrä on nousussa, mikä aiheuttaa jatkossa enemmän ja nopeampaa rapautumista. Tämän vuoksi oikein ajoitetut tutkimukset ja niiden pohjalta määritettävät korjaukset tulevat auttamaan rakennuksen elinkaaren hyödyntämistä merkittävästi.

Lähteet

- [1] Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019 by 42. 2019. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- [2] Lemberg, Antti-Matti. 2019. Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusohje. Julkisivuyhdistys r.y. https://julkisivuyhdistys.fi/wp-content/uploads/2019/12/Eristerappausjarjestelmien_kuntotutkimusohje_2.pdf Viitattu 17.4.2021
- [3] Rapatun julkisivun kuntotutkimus by 44. 1998. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- [4] Rappauskirja 2005 by 46. 2005. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- [5] Eriste- ja levyrappaus 2011 by 57. 2011. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- [6] Muurattujen ja rapattujen julkisivujen kuntotutkimus by 75. 2021. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- [7] Pyy, Hannu. 2019. Alkalikiviainesreaktio voidaan todeta vain ohuthietutkimuksella <https://vahanen.com/fi/vahanen/ajankohtaista/alkalikiviainesreaktio-voidaan-todeta-vain-ohuthietutkimuksella/> Viitattu 1.10.2021
- [8] Tilaajan ohje 2012 by 42. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

Kuvalähteet

- Kuva 1. Weber-Saint Gobain. 2020. SerpoVent -levyrappausjärjestelmä, metalliranka. <https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/tuulettuvat-julkisivut/serpovent-levyrappaus-metalliranka> Viitattu 27.10.2021
- Kuva 2. Weber-Saint Gobain. 2020. Monoroc -eristerappausjärjestelmä. <https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/eristerapatut-julkisivut/monoroc-eristerappaus> Viitattu 27.10.2021

- Kuva 3. Weber Saint-Gobain. 2020. Kolmikerrosrappaus.
<https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/rappausratkaisut/kolmikerrosrappaus> Viitattu 27.10.2021
- Kuva 4. RT 86-10563. Parvekerakenteet. 1995. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Kuva 5. Muurattujen ja rapattujen julkisivujen kuntotutkimus by 75. 2021. Suomen Betoniyhdistys r.y, Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- Kuva 6. Betonin vaurioituminen. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/> Viitattu 27.10.2021
- Kuva 9. Overview of Nanotechnology Applications in Construction Industry in the United States - Scientific Figure on ResearchGate.
https://www.researchgate.net/figure/Fig-5-Highway-barrier-attacked-by-Alkali-Silica-Reaction-ASR_fig2_285684591 Viitattu 27.10.2021
- Kuva 12. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019 by 42. 2019. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy
- Kuva 13. Karbonatisoitumisen eteneminen olemassa olevissa betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa sekä sisärakenteissa. 2015. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1501_64-69.pdf Viitattu 27.10.2021
- Kuvat 7, 8, 10 ja 11. Tommi Karihtala / RTC Vahanen Turku Oy.

By 42 Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus, Tilaajan ohje 2014, Lomake 2

Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus
Tilaajan ohje 2014

Lomake 2

Lomake 2, kuntotutkimuksen ohjesisältö tarjouspyynnön liitteeksi

(Lisätietoa kuntotutkimusluokan valinnasta: "Lomakkeet 1 ja 2: Ohje")

Kuntotutkimusluokat: (P) Perustutkimus

(L) Laaja kuntotutkimus

Sisältyy tutkimukseen =

Suositteltu tutkimus = ()

Lisävalinnat luokan tutkimussisältöihin merkitsemällä X

Kuntotutkimusluokat	P	L
Valittu kuntotutkimusluokka (merkitse X)		
Poranäytteiden määrän tulee täyttää kaavion vähimmäismäärä (Lomake 3) Laajassa tutkimuksessa näytteitä väh. 50 % vähimmäismäärää enemmän	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Betonin vaurioitumisen ja rakenteen selvittäminen laboratoriossa: - Ohuthietutkimuksia vähintään 1/3 näytteiden kokonaismäärästä - Kaikille muille näytteille tehdään veto- tai puristuslujuuskoe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Raudoitteiden korroosion tutkiminen - terästen peitekerrosten kattavat mittaukset elementtityypeittäin - karbonatisoitumisen määrittäminen kaikista poranäytteistä - kloridipitoisuuden määrittäminen tarvittaessa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rakenteiden kiinnitysten ja kannatusten tutkiminen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pintakäsittelyjen vaurioituminen		<input checked="" type="checkbox"/>
Ympäristölle ja terveydelle vaaralliset aineet	()	<input checked="" type="checkbox"/>
Aiemmin korjattujen rakenteiden tutkiminen		<input checked="" type="checkbox"/>
Rakenteiden muodonmuutosten tutkiminen	()	<input checked="" type="checkbox"/>
Liittyvien rakenteiden tutkiminen vaurioitumistapojen osalta	()	<input checked="" type="checkbox"/>
Liittyvien rakenteiden tutkiminen kosteusongelmien löytämiseksi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rakenteiden käyttöiän ja jatkotoimenpiteiden määrittäminen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Korjaussuosituksen ja kustannusarvioiden laatiminen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

By 42 Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus, Tilaajan ohje 2014,
Lomake 3

