

Kristian Koskenniemi

Kuntotutkimusasiakirjojen yhtenäistäminen ja kehittäminen tiedonhallinta sovellusten käyttöön

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Rakennustekniikka, ylempi AMK

Opinnäytetyö

20.2.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Kristian Koskenniemi Kuntotutkimusasiakirjojen yhtenäistäminen ja kehittäminen tiedonhallinta sovellusten käyttöön 70 sivua + 33 liitettä 20.2.2017
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka, ylempi AMK
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen YAMK
Ohjaajat	Suomen Talokeskus DI Harri Mäkinen Suomen Talokeskus julkisivupalvelut DI Juha Hartikka Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli yhtenäistää Suomen Talokeskuksen kuntotutkimusraportointia ja se on osa käynnissä olevaa RATI – hanketta (nykyään Tampuuri R), jossa on tarkoituksena kehittää rakentamishankkeiden tiedonhallintaa.</p> <p>Tutkimusaineisto koottiin tämän lopputyön laatijan tekemistä noin 100 rakennuksen kuntotutkimuksesta sekä lisäksi luotettavuuden kasvattamiseksi Talokeskuksen yli 200 kuntotutkimusraportista.</p> <p>Selvitystyön perusteella voidaan tehtäviä kuntotutkimuksia verrata tutkimustyön tuloksiin, jonka pohjalta pystytään määrittelemään luotettavammin kunnostusehdotukset. Tarkoitus on vähentää niin saottua yli korjaamista ja niille voidaan ennustaa tarkemmin kunnostus ajankohdat.</p> <p>Lisäksi laadittiin kuntotukijoiden käyttöön laskentaohjelma sekä saatiin yhtenäistettyä raportointi sekä niiden esittely pohjia tulevia kuntotutkimuksia varten.</p>	
Avainsanat	betonirakenteiden kuntotutkimus, karbonatisoituminen

Author Title Number of Pages Date	Kristian Koskenniemi Standardizing and developing condition survey documentation for data management applications 70 pages + 33 appendices 20 February 2017
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Renovation
Instructors	Harri Mäkinen, Master of Science Engineering Juha Hartikka, Master of Science Engineering Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>The aim of thesis was to standardize condition survey reports of Suomen Talokeskus. The study is part of the RATI project (also called Tampuuri R), the goal of which is to develop data management of building projects.</p> <p>The data were collected from firsthand condition and condition surveys reports the Suomen Talokeskus to increase the reliability of the study.</p> <p>Based on this study, condition surveys can be compared with the result of the renovation proposals in a more reliable way. The aim is to reduce over correction, and estimate renovation schedules.</p> <p>In addition, a calculation program was devised. Finally, condition survey reporting and their presentation templates were successfully standardized for future condition surveys.</p>	
Keywords	concrete, carbonation, condition

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tavoite ja sisältö	1
1.2	Työnrajaus ja tutkimusmenetelmät	1
2	Kuntotutkimuksien tarve ja volyymi Suomessa	2
2.1	1880 - 1920 luvun asuinkerrostalot	3
2.2	1920 - 1940 luvun asuinkerrostalot	3
2.2.1	Julkisivut	3
2.2.2	Parvekkeet	4
2.3	1940–1959 luvun asuinkerrostalot	4
2.3.1	Julkisivut	5
2.3.2	Parvekkeet	6
2.4	1960 - 1969 luvun asuinkerrostalot	6
2.4.1	Julkisivut	7
2.4.2	Parvekkeet	8
2.5	1970–1979 luvun asuinkerrostalot	8
2.6	1980 -> lukujen asuinkerrostalojen kuntotutkimuksien tarve	9
2.6.1	Julkisivut	9
2.6.2	Parvekkeet	9
3	Julkisivun betonirakenteiden kuntotutkimukset	10
3.1	Kuntotutkimuksen tilaaminen ja tarkoitus	10
3.2	Julkisivun kuntotutkimuksessa huomioitavat rakenteita vaurioittavat tekijät	11
3.2.1	Raudotteiden korroosio	11
3.2.2	Betoni rakenteiden karbonatisoituminen	13
3.2.3	Kloridit	14
3.2.4	Korroosion nopeus betonissa	15
3.2.5	Korroosion vaikutus rakenteissa	17
3.2.6	Betonin rapautuminen	18

3.2.7	Pakkasrapautuminen	18
3.2.8	Ettringiittireaktio	23
3.2.9	Alkalirunkoainereaktio	24
3.2.10	Rakenteiden rapautumisen vaikutus	25
3.3	Kosteustekniset toimivuuspuutteet	27
3.3.1	Elastisten saumamateriaalien turmeltuminen	28
3.4	Julkisivun kiinnityksien vaurioituminen	29
3.4.1	Sandwich-elementtien kiinnitysten vaurioituminen	29
3.4.2	Parvekerakenteiden kiinnitysten vaurioituminen	30
3.5	Pintatarvikkeiden turmeltuminen ja irtoaminen	30
3.6	Pintakäsittelyn vaurioituminen	32
3.7	Betonirakenteiden halkeilu sekä muodonmuutokset julkisivussa	33
3.7.1	Ulkoseinäelementit	34
3.7.2	Parvekkeet	36
3.7.3	Aiemmat korjaukset	36
3.8	Haitta-aineet kuntotutkimuksissa	37
3.8.1	Asbesti	37
3.8.2	Mikrobit	37
3.8.3	PCB- ja lyijy-yhdisteet	38
3.8.4	PAH-yhdisteet	38
4	Betonijulkisivujen korjaustapoja	38
4.1	Korjaustoimenpiteitä	38
4.2	Pinnoitus- ja paikkakorjaukset	39
4.2.1	Kevyet pinnoituskorjaukset	39
4.2.2	Perusteellinen laastipaikkaus- ja pinnoituskorjaus	40
4.3	Peittävät korjaukset	43
4.4	Purkaminen ja uudelleen rakentaminen	46
4.5	Liittyvät korjaukset	47
4.6	Rakenteiden kunnostuksessa käytettyjä erikoismenetelmiä	48
4.6.1	Inhibiittorit	48

4.6.2	Ruiskubetonointi	48
4.6.3	Betonin uudelleen alkalointi	48
4.6.4	Katodinen suojaus	49
4.7	Betoni korjausten käyttöikä	50
5	Kuntotutkimuksien tulosten luetettavuuden määrittely	51
5.1	Rapautumistilanteen tutkiminen	53
5.1.1	Raudoitteen korroosion ja karbonatisoitumisen tutkiminen	54
6	Kuntotutkimuksista koottu tutkimusaineisto	56
7	Tehdyn kuntotutkimuksen esittely tilaajalle	58
7.1	Esittelyn sisältö	59
8	Yhteenveto	61
8.1	Tutkimustulosten tarkastelu	61
8.1.1	Vuosien 1920 – 1939 betonirakenteet	61
8.1.2	Vuosien 1940 – 1959 betonirakenteet	62
8.1.3	1960-luvun betonirakenteet	62
8.1.4	1970-luvun betonirakenteet	63
8.1.5	1980-luvun betonirakenteet	65
8.1.6	1990-luvun talojen betonirakenteet	66
8.1.7	Erivuosikymmenien rakenteiden keskinäistä vertailua	66
8.2	Johtopäätökset ja opinnäytetyön merkitys	67
	Lähteet	70
	Liitteet	
	Liite 1. Tehty kuntotutkimus mallipohjan avulla (ei julkaista)	
	Liite 2. Hallitukselle ja taloyhtiölle tehty kuntotutkimuksen esittelymateriaali (ei julkaista)	

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihealueeksi valittiin asuinkerrostalojen julkisivujen betonirakenteiden kuntotutkimuksien kehittäminen Suomen Talokeskus Oy:ssä. Yrityksessä laaditut betonirakenteiden kuntotutkimukset poikkeavat nykyisin toisistaan kuntotutkijasta ja toimipisteestä riippuen. Poikkeavuuksia löytyy käytetystä sisällöstä sekä dokumenttien rakenteesta.

1.1 Opinnäytetyön tavoite ja sisältö

Opinnäytetyö toimii osana Suomen Talokeskus Oy:ssä käynnissä olevaa RATI-hanketta (Tampuuri R), jonka tarkoituksena on kehittää hankkeiden tiedon hallintaa. Tavoitteena on erityisesti kehittää ja yhtenäistää rakentamishankkeiden asiakirjoja. Aihe on rajattu julkisivun betonirakenteiden kuntotutkimuksiin 1900-luvun eri vuosikymmenien raporttien kehittämiseen. Pohjana opinnäytetyössä käytetään aikaisemmin toteutuneiden kohteiden kuntotutkimuksia sekä henkilökohtaisesti tehtyjä kuntotutkimuksia. Yhdistämällä nykyisiä käytössä olevia kuntotutkimusraportteja tehdään uudet pohjamallit yrityksen omaan uuteen malliin. Laaditut uudet kuntotutkimusraportit päivitetään vastamaan toisiaan sekä tilaajan tarpeita.

Laaditut uudet kuntotutkimuksen pohjamallit tullaan siirtämään Talokeskuksen intraan, josta ne voidaan koekäytön jälkeen siirtää Tampuuri-sovellukseen. Tampuuri on Talokeskus Yhtiöt Oy:n muokattavissa oleva kiinteistöalan sovellus.

Työssä esitellään 1900-luvun eri vuosikymmenillä rakennettujen asuinkerrostalojen rakentamisessa käytettyjä julkisivun rakenne ratkaisuja sekä olemassa olevat saneerausvaihtoehtoja, sillä nämä ratkaisut ja vaihtoehdot toimivat keskeisenä pohjana uudistetuille pohjamalleille.

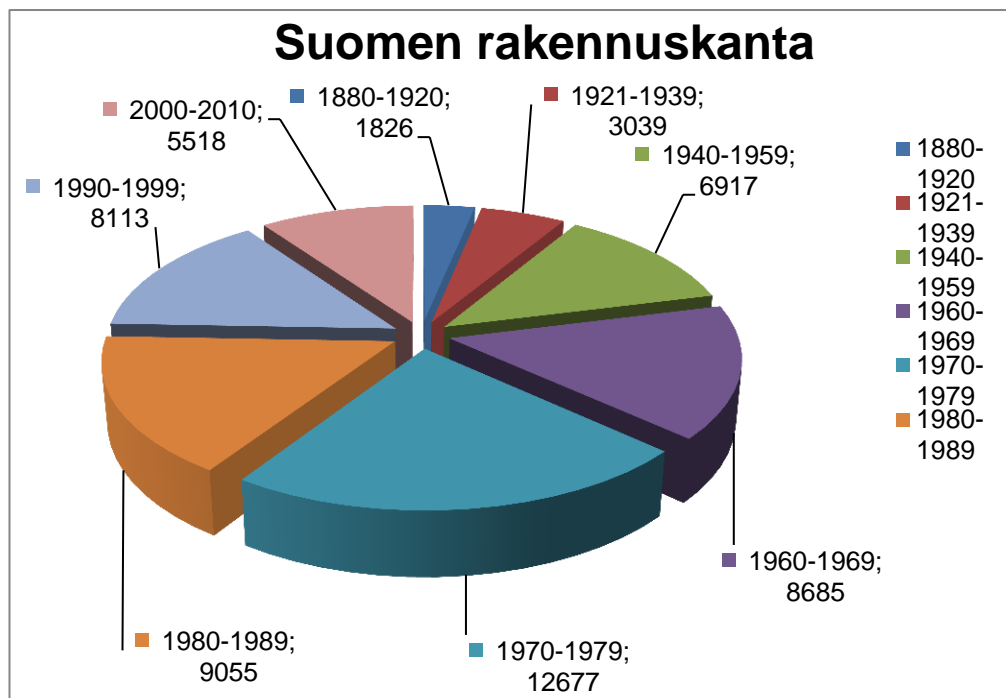
1.2 Työnrajaus ja tutkimusmenetelmät

Työ rajattiin koskemaan Suomessa 1900-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen betonisten parveke- ja julkisivurakenteiden kuntotutkimuksia. Tutkimustyö keskittyy tutki-

maan paikallavalu sekä elementti tekniikalla valmistettuja julkisivurakenteita. Korjattavana oleva rakennuskanta asettuu pääsääntöisesti 1960 – 1990 luvuilla.

2 Kuntotutkimuksien tarve ja volyymi Suomessa

Suomalaiset asuinkerrostalojen rakennuskanta koostuu pääosin 1900- ja 2000-luvun rakennuksista. Ensimmäiset asuinkerrostalot 1800-luvun lopulla rakennettiin kaupunkien keskustoissa sijaitseviin vanhoihin umpikortteleihin. Näiden aikakautemme ensimmäisten asuinkerrostalojen rakennuttajina toimivat aikansa varakkaat vaikuttajat aina ensimmäiseen maailman sotaan asti. Tämän jälkeen rakennuttajiksi muodostuivat grynderit, jotka rakennuttivat kerrostalot osakeyhtiöinä. Rakennuskausi voidaan rajata toisen maailmansodan loppumiseen asti, jonka jälkeen asuntopulan seurauksena alkoivat kunnat sekä aatteelliset tahot rakennuttaa asuinkerrostaloja. Kaupunkilaistuminen loi 1960-luvun lopulla ja 1970-luvulla suuren rakennustarpeen, jolloin alkoi lähiöiden sarjatuotanto. Sarjatuotanto loi suuria paineita betoniteknologialle jonka seurauksena kehitettiin vielä nykyäänkin paljon käytetty betonisandwich elementtitekniikka. [1 s.15,54,84,142.]



Kuva 1. Kuva 1 Suomen asuinkerrostalojen rakennuskanta Lähde: Tilastokeskus http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__rak/010_rak_tau_101_fi/tableViewLayout1/?rxid=538ec40c-b3a2-4f20-9825-81d6f7505bef

Kuvasta nähdään, että Suomen rakennuskannasta yli puolet on rakennettu betoni elementein ja ovat kuntotutkimuksen tarpeessa, jotta tarvittava kunnostustaso pystytään määrittelemään.

2.1 1880 - 1920 luvun asuinkerrostalot

Ensimmäiset asuinkerrostalojen julkisivut rakennettiin pääsääntöisesti tiilestä, joka pinnoitettiin erilaisin perinteisin rappaustyylein. Rakennuksien kadulle päin suuntautuva julkisivu tehtiin koristeelliseksi ja sisäpihan puoleinen toissijaiset pinnat tehtiin sileiksi yksinkertaisiksi rappauspinnoiksi. [1 s.23.]

Aikakauden rakennuksiin tehtiin harvoin huoneistoparvekkeita. Tehdyt parvekkeet olivat yksittäisiä, ja ne tehtiin sopimaan koristeellisiin julkisivu sommitelmiin. Parvekkeet ovat raskaskaita ja hyvin tuettuja. Sisäpihan puolelle rakennettiin kevytrakenteisimpia tuuletusparvekkeita, jotka varustettiin teräsrakenteisilla kaiteilla. [1 s.28.]

Julkisivun rakenteiden kuntotutkimuksen tarve on pienen rakennuskannan vuoksi vähäinen. Kyseisen aikakauden rakennuksille kuntotutkimuksena tehdään pääsääntöisesti rappauksen irtonaisuuden tarkastelu niin sanottu kopokartoitus. Se sisältää koko rakennuksen julkisivun vasarakoputtelun, jonka perusteella tehdään julkisivusta kartta, jossa määritellään irtonaiset alueet sekä mahdolliset halkeamat. Samassa yhteydessä tarkastellaan mahdollisten koristeiden kiinnitykset sekä kaikkien liittymien tarkastamisen. Kopo-kartoituksen perusteella tehdään päätös rappauksen kunnostuksesta tai uusimisesta.

2.2 1920 - 1940 luvun asuinkerrostalot

2.2.1 Julkisivut

Aikakauden alkupuolella käytettiin vielä tiilirakennetta, joka rapattiin myös perinteisin mutta yksinkertaisemmin rappaustyylein kuin aiemmat rakennukset. Julkisivurakenteessa ruvettiin käyttämään lämmöneristeitä. Käytetyistä lämmöneristeistä kuntotutkimusta ajatellen haasteellisemmän tekee kevytbetoni, jota käytettiin tiilimuurauksen sisä- että ulkopuolisena rakenteena, ylimmissä kerroksissa sellaisenaan. Kuntotutkimus aikakauden rakennuksiin on rappauksen irtonaisuuden tarkastaminen niin sanot-

tuna kopokartoituksena. Kartoitus sisältää koko rakennuksen julkisivun vasarakoputteen, jonka perusteella tehdään julkisivusta kartta, jossa määritellään irtonaiset alueet, mahdolliset halkeamat sekä liittymissä esiintyvät vauriot.

2.2.2 Parvekkeet

Huoneistoparvekkeita alettiin rakentaa rakennuksien suurempiin asuntoihin, ensin ulokeparvekkeina ja myöhemmin myös sisään vedettyinä rakenteina. Parvekkeet olivat yleisimmin ratakiskoilla välipohjasta tuettuja teräsbetonilaattoja. Parvekkeen tuentoina käytettiin myös välipohjaan kiinnitettyjä vetoteräksiä. Kaiteet ovat pääsääntöisesti teräsrunkoisia levyverhoiltuja rakenteita. Huoneistoparvekkeet ovat aikakaudelle tyypillisesti hyvin pieniä, tuuletusparvekkeet ovat rakennettu suuremmiksi, yleensä koko porashuoneen levyisiksi rakenteiksi. [1 s.62,63.]

Sokkelikerroksissa alettiin käyttää teräsbetonia, näiden betonirakenteiden tutkiminen edellyttää näyteporauksia ja laboratoriotutkimuksia.

2.3 1940–1959 luvun asuinkerrostalot

Sota-ajan rakentamista rajoitti voimakasrakennustarvikkeiden ja työvoiman säättely, jolloin rakentamiseen ei voitu asettaa kehitys tarpeita. Osin tästä syystä aikakaudella käytettiin edelleen perinteisiä rakennusmateriaaleja. Pula-ajan päättymisen Suomessa mahdollisti betonin asemaa merkittävänä rakennusmateriaalina. [1 s.84.]

Runkorakenteet, materiaalit ja työmenetelmät olivat voimakkaan kehitystyön alla 1940 – 1950 luvuilla. Kantava runko toteutettiin yleisesti tiilimuurauksena, sekarunkona, betonipilarirunkona, betoniseinärunkona tai kirjahyllyrunkona. Betonielementtien käyttö alkoikin 1950 luvulla, alkuun rakentaminen oli kokeilevaa ja se rajoittui yksittäisiin rakennuksiin. Ensimmäiset sandwich-betonielementti asuinkerrostalot tehtiin Helsingin 1958 Lauttasaareen, joiden lämpöeristeenä käytettiin lastuvillalevyä. [2 s.35-46.]

Tiilimuurirunko oli 1960-luvulle asti käytössä oleva perinteinen runkomateriaali, jossa kaikki kantavat seinät muurattiin tiilestä. 1950-luvulla muurausta pyrittiin tehostamaan monin tavoin, kuten käyttämällä normaalitiiltä kookkaampia suurttiiliä ja hyödyntämällä tiilien työmaasiirroissa tiililavoja. [1 s.88.]

Sekarunko oli 1940-luvun ja 1950-luvun alun yleisin runkoratkaisu. Kantavat tiilimuurit talon keskellä korvattiin betonipilareilla. Kaikki väliseinät, porrashuonetta lukuun ottamatta olivat kevytrakenteisia. Ulkoseinien muurauksessa luovuttiin perinteisestä kahden kiven täysi tiilimuurista. Se korvattiin joko puolentoista kiven tiilimuurilla, joka muurattiin lämpöä eristävästä monireikätiilestä tai kantavaan tiilimuriin yhdistettiin lämmöneriste kevytbetonista, lastuvillasta tai mineraalivillasta. Seinät olivat pääsääntöisesti molemmin puolin rapattuja, mutta jonkin verran tehtiin myös puhtaaksi muurattuja julkisivuja. [1 s.88.]

Betonipilarirungossa kaikki kantavat pystyrakenteet olivat teräsbetonipilareita. Porrashuoneen seinät saattoivat olla betonista valettuja tai tiilimuurattuja, mutta niin ulkoseinät kuin huoneistojenkin väliset seinät olivat ei-kantavia. Menetelmä oli jonkin verran käytössä 1940–1950-luvuilla. [1 s.90.]

Betoniseinärunko korvasi tiilen kantavana runkomateriaalina 1950-luvun puolessavälissä. Betoniseinärungossa kaikki kantavat pystyrakenteet olivat paikalla valettua teräsbetonia, järjestelmä oli 1950-luvun yleisin runkotyyppi. Seinät eristettiin ulkopuolelta kevytbetonilla ja julkisivu rapattiin. Sementtilevyllä, poimupellillä tai tiilellä verhoilluissa julkisivuissa on käytetty eristeenä pääsääntöisesti lastu- tai mineraalivillaa. Rungon valumenetelmää pyrittiin kehittämään. Laudoista kasatuista seinämuoteista alettiin siirtää pieniin vaneripintaisiin kasettimuotteihin ja nosturia vaativiin suurmuotteihin. Valumenetelmiä kehittämällä pyrittiin pääsemään eroon sisäpuolen rappauksesta ja tekemään pelkkä tasoitus. [1 s.90.]

Kirjahyllyrunko on elementtiteollisuuden tarpeisiin kehitetty runkojärjestelmä, jossa pelkästään poikittaiset väliseinät ja porrashuoneen seinät ovat kantavia. Pitkät julkisivut ovat kevytrakenteisia, niiden toteutuksessa pystyttiin vapaasti hyödyntämään erilaisia rakenteita. Menetelmällä rakennettu runko on yleisin tyyppi ratkaisu kerrostalokannassamme. [1 s.90.]

2.3.1 Julkisivut

1940- ja 1950-luvun kerrostaloissa oli yleensä niin sanottu aukkojulkisivu, jossa ikkunat olivat energiapulan takia pieniä ja ulkoseinät olivat useimmiten rapattuja. Rappauspinnoissa suosittiin roiskerappausta, mutta myös harjattu, kammattu ja terastirappaus olivat käytössä. 1950-luvulla alettiin käyttää julkisivuissa levytystä, materiaaleja olivat:

asbestisementti, teräs, kupari ja alumiini. Aikakaudelle oli tyypillistä useiden eri materiaalien ja rakenteiden käyttäminen samassa rakennuksessa. Julkisivujen sokkeleissa käytettiin liuskekiviverhousta joissa oli salaojaputkista muuratut tuuletusaukot. Tyypillisesti pääosin paikalla rakentamiseen perustuva tekniikka antoi mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja yksilöllisten erikois- ratkaisuiden käyttöön. [1 s.96-97.]

2.3.2 Parvekkeet

Huoneistoparvekkeet yleistyivät 1940-luvulla, kuitenkin pienimmistä asunnoista ne vielä yleensä puuttuivat. Arava-lainoitetussa talossa parvekkeen rakentaminen yksioon oli kielletty. 1950-luvulla erityisesti pieniin asuntoihin rakennettiin ranskalaisia parvekkeita. Vuosikymmenen alkupuolella ne rakennettiin ulokkeellisiksi rakenteiksi. Vuosikymmen puolenvälin jälkeen niitä suojattiin tekemällä niistä sisäänvedettyjä parvekkeita. Yleisin rakenne oli rataakselilla välipohjasta kannatettu teräs- betoninen ulokelaatta, jonka päälle tehtiin erillinen bitumikermi tai bitumisively vedeneristykseksi ja päälle valettiin pintalaatta. Parvekkeitaiteet olivat terästä, betonia tai teräsrunko verhoiltiin poimupellillä tai asbestisementtilevyllä. [1 s.103.]

2.4 1960 - 1969 luvun asuinkerrostalot

Jo edellisen vuosikymmenen lopussa tehtiin ensimmäiset elementtitalot Suomeen ja 1960 luvun lähiöiden sarjarakentaminen käynnisti betonielementtirakentamisen aikakauden. Vuosikymmenen alkupuolella rakennettiin enemmän paikalla valettuja asuinkerrostaloja kuin elementti taloja. Elementtitalojen rakentamisen tehokkuus syrjäytti nopeasti muut rakennustavat. Vuosikymmenen lopussa rakennettiin jo pääsääntöisesti pelkkiä betoni elementtirakennuksia. [1 s.142, 143; 3 s.22,23.]

Rakennuksien suunnitelluksi käyttöäksi arvioitiin 40 - 50 vuotta. [Hakkarainen, 2013.] Rakennuksien betonirakenteiden suunniteltu käyttöikä on yleensä tutkimusta tehdessä näin jo saavutettu ja jopa merkittävästi ylitetty.

1960-luvulla tiili väistyi betonin tieltä käytetyimpänä kantavan rungon materiaalina. Yleisimmäksi runkotyyppiä muodostui kirjahyllyrunko, jonka kantavana pystyrakenteena toimivat betoniseinät. Järjestelmästä esiintyi hieman toisistaan eroavia versioita. Asuntotuotannon huippuvuosina 60–70-luvun taitteessa käytetyin runkoratkaisu oli pai-

kalla rakentamista ja elementtirakentamista yhdistelevä osaelementtirakenteinen kirjahyllyrunko. [1 s.148.]

Paikalla valettu kirjahyllyrunko oli 1960-luvun puoleen väliin asti käytetyin runkoratkaisu. Kantavia väliseiniä oli tiheässä ja kaikki kantavat rakenteet tehtiin paikalla. Erilaisia täydentäviä rakennusosia, kuten portaita tai parvekkeita saatettiin toteuttaa elementti tekniikalla. Julkisivut toteutettiin suurelta osin paikalla rakentaen ja ulkoseinät eristettiin kevytbetonilla. [1 s.148.]

Osa elementti kirjahyllyrungosta tuli asuinkerrostalojen käytetyin runkoratkaisu Suomessa 1960-luvulla. Kantavia väliseiniä oli tiheässä ja kantavat rakenteet valettiin paikan päällä suurmuoteilla. Julkisivut toteutettiin elementtirakenteisina ja käytetyin ulkoseinätyyppi oli betonisandwich elementti. [1 s.150.]

Täyselementti ja suurlevyjärjestelmä kirjahyllyrunko ratkaisussa väliseinä- ja välipohjaelementit olivat massiivisia betonielementtejä. Yleisin ulkoseinärakenne oli betonisandwich elementti. Suomessa valmistui ensimmäiset täyselementtitalot vuosina 1961–1962. [1 s.150.]

Suuret etäisyydet elementtitehtaista hidastivat elementtirakentamiseen siirtymistä ja vuosikymmenen alkupuolella tehtiinkin vielä paljon asuinkerrostaloja perinteisin menetelmin. Vuonna 1965 valmistui viimeinen tiilimuurirunkoinen asuinkerrostalo Helsinkiin. [1 s.150, 153.]

2.4.1 Julkisivut

1960-luvun alkuvuosina julkisivuissa suosittiin virtaviivaista ilmettä, joka saatiin aikaan nauhaikkunoilla ja sisään vedetyillä parvekkeilla. Puhtaaksimuurattu tiili, rappaus ja erilaiset julkisivulevyt hallitsivat asuinkerrostalojen ilmettä. Heikohkosta nosturikapasiteetista johtuen betonisandwich elementtejä ei käytetty kantavissa päätyseinissä, vaan seinät verhoiltiin tiilellä tai kevytbetonilla. Vasta 1960-luvun lopulla yleistyivät tuotannollisesti helpommat ruutuelementit. Nosturikapasiteetin yleistymisen mahdollisesti betonisandwich elementtien käyttämisen myös kantavissa päätyseinissä, alkuun käytetyt elementit olivat pääsääntöisesti kapeita. Rakennuksen pitkillä sivuilla elementit olivat yhden huoneen levyisiä ja ne asennettiin kiinni kantaviin väliseiniin. 1970-luvulla BES-järjestelmän julkisivuissa jatkui entinen, tuotannollisesti edulliseksi todettu ruutuele-

menttilinja. Aiemmasta poiketen rakennusten pitkien sivujen julkisivuelementit olivat pääosin itsensä kantavia, eli ne seisoivat toistensa päällä omilla perustuksillaan. [1 s.158.]

Erityisesti 1960–1970-lukujen taitteessa rakennetut, suureen toistuvuuteen pyrkinyt ja urakoitsijavetoinen elementtirakentaminen tuotti ulkonäöllisesti ankeita lopputuloksia. Investoinneiltaan edullinen kerrostalo koostui keskenään samanlaisista ruutuelementeistä ja julkisivua hallitsevat parveketornit asennettiin rungon ulkopuolelle. Välillä yksitoikkoisten julkisivujen ilmettä koetettiin ehostaa muodostamalla julkisivuun vaaka- tai pystynauhoja ulkokuoren pintamateriaalin, värin tai pintakäsittelyn avulla. Parvekkeiden taustaseinät rakennettiin yleisesti kevytrakenteisista puuelementeistä. [1 s.158.]

2.4.2 Parvekkeet

Vuoteen 1968 asti Arava-ohjeet kielsivät parvekkeiden rakentamisen yksiöihin. Tämän jälkeen oli mahdollista asentaa parveke jokaiseen asuntoon, mutta parvekkeiden syvyys oli ainoastaan 1500 millimetriä. 1960-luvun alussa suositettiin vielä rataakiskojen varaan valettuja ulokeparvekkeita. Parvekekaiteena oli betonikaide tai metallikaide, joka oli verhottu asbestisementtilevyllä, peltilevyllä tai rautalankalasilla. 60-luvun lopulla yleiseksi parvekerakenteeksi vakiintui kantaviin pieliseiniin tukeutuva betonielementtirakenteinen parveketorni. [1 s.173.]

2.5 1970–1979 luvun asuinkerrostalot

Lähiöiden nopean rakentamisen johdosta betonielementti rakentamista kehitettiin BES-tutkimuksella vuosina 1968 - 1970. Hankkeen päätavoitteena oli luoda betoniin rakennuselementteihin perustuva, täysin avoin ja kaikkien käytössä oleva järjestelmä. Järjestelmällä luotiin edellytykset tehokkaalle elementtituotannolle. Ensimmäiset BES-järjestelmää hyödyntävät asuinkerrostalot rakennettiin Espooseen ja Tampereelle. [1 s.142-148.]

Kirjahyllyrunko (täyselementti, BES)

Suomalainen BES-järjestelmä, joka oli laajamittaisen tutkimuksen tulos, julkaistiin vuonna 1970. BES-täyselementtitalon välipohjat olivat esijännitetyjä ontelo- tai kotelo-

laattoja, joilla päästiin yli 10 metrin jänneväleihin. Pitkä jänne väli mahdollisti kantavien väliseinien radikaalin vähentämisen ja niitä käytettiinkin pääsääntöisesti enää huoneistojen välisissä seinissä. Ensimmäinen BES-koetalo valmistui Tampereelle vuonna 1970. [1 s.150.]

1970-luvulla BES-järjestelmän rinnalla kehitettiin PLS80- elementtijärjestelmää, mutta se ei koskaan saanut laajempaa suosiota. [1 s.150.]

2.6 1980 -> lukujen asuinkerrostalojen kuntotutkimuksien tarve

Kerrostalarakentamisen tarpeen vähentyessä alettiin kiinnittää betonin valmistukseen enemmän huomiota ja sen kehittämisen seurauksena tuli vuonna 1976 normeihin ja vuodesta 1980 alkaen pakolliseksi käyttää suojahuokostettua betonia julkisivurakenteissa. Suojahuokostuksella saatiin betonista pakkasenkestävää. Energiakriisin johdosta ruvettiin kiinnittämään huomiota rakennuksen energian kulutukseen ja aloitettiin säännönmukainen U-arvon kiristämishjelma.

	-> 1976	C3 1976	C3 1978	C3 1985	C3 2003	C3 2007	C3 2010	D3 2012
U-arvo	0,81	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Suunnittelupaksuus	70-90	90	120	140	160	160	240	240

Taulukko 1 Ulkoseinäelementtien määräysten mukaisten U-arvojen muutos ja suunnittelupaksuus [4 s.15, taulukko 2.1.]

2.6.1 Julkisivut

Rakennuksien runkona on pääsääntöisesti käytetty teräsbetonielementtejä. Elementtitaloja päällystettiin tiililaatoin, keraamisin laatoin ja väribetonilla. Ratkaisuilla saatiin julkisivurakenteisiin aivan uutta monimuotoista ilmettä. [1 s.220.]

2.6.2 Parvekkeet

Vuodesta 1977 alkaen säädettiin Arava ohjeilla jokaiseen rakennettavaan asuntoon tehtäväksi huoneistoparveke. Parvekkeiden kokoon kiinnitettiin erityistä huomioita ja vuonna 1979 syvyudeksi määriteltiin 180 cm (vuodesta 1990 200 cm). Parvekkeiden kannatuksiin ja sijoitteluun tuli uusia ratkaisuja. [1 s.222.]

3 Julkisivun betonirakenteiden kuntotutkimukset

Asuinkerrostalojen kuntotutkimuksella tarkoitetaan rakennusosan tässä tapauksessa julkisivun sekä parvekkeiden betonirakenteiden kunnan ja toimivuuden tarkastelua erilaisin toimenpitein. Lisäksi kuntotutkimuksen yhteydessä suoritetaan korjaustarpeen arviointi sekä tuodaan esille mahdollisia vaihtoehtoisia korjaustapoja. Ehdotetuille korjauksille annetaan suuntaa-antavat kustannusarviot sekä määritellään tarvittavien kunnostuksien kiireellisyysaste.

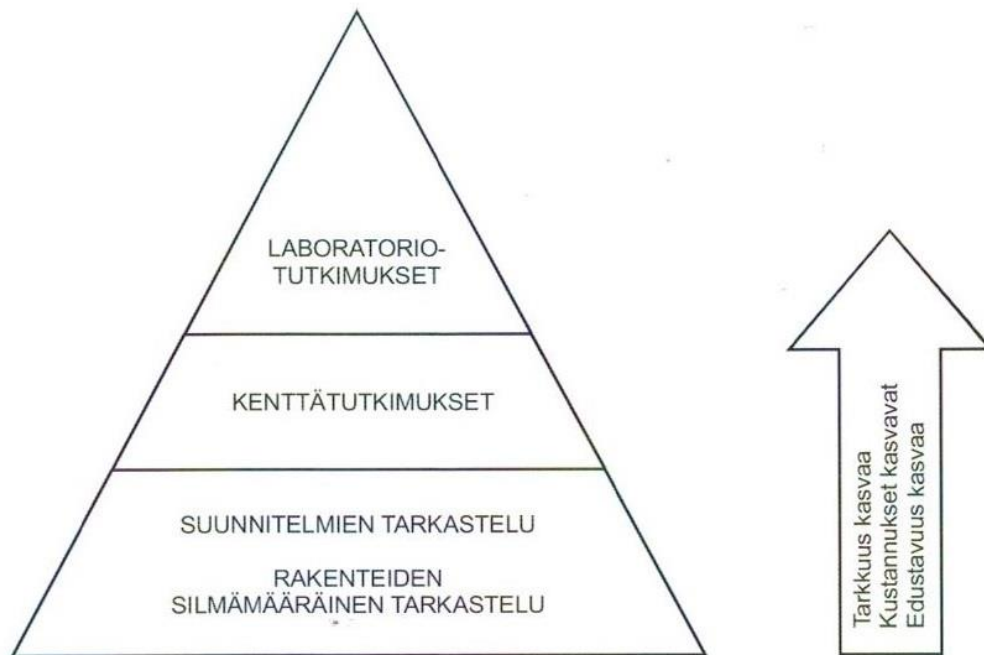
Kuntotutkimuksissa käytetyt tutkimusmenetelmät ovat seuraavat:

- Vanhoihin suunnitelma-asiakirjoihin tutustuminen
- Tehtyjen kunnostustoimenpiteiden ja mahdollisen aikaisempien tutkimusten selvitys
- Kohteen silmämääräinen tarkasteleminen
- Liittyvien rakenteiden tutkiminen
- Tilaaja ohjeen mukaisesti tarvittavien näytteiden ottaminen laboraatio tutkimuksia varten
- Tutkimusraportin tuottaminen
- Raportin esitteleminen vähintäänkin taloyhtiön hallitukselle, jos tutkimus johtaa toimenpiteisiin, niin pitää sen tulokset esitellä myös yhtiön muille osakkaille.

3.1 Kuntotutkimuksen tilaaminen ja tarkoitus

Kuntotutkimuksen tilaamiseen on Suomen Betoniyhdistys kehittänyt tilaajan ohjeen, jolla pystytään määrittämään erilaisien rakennuksien laboratorionäytemäärien minimi tarve. Kuntotutkimuksen tilaajan tulee toimittaa kohteesta lähtötiedot, jonka perusteella tutkimuksen tarjouksen tekijä tekee kohteesta tutkimussuunnitelman ja määrittelee tehtävät laboraatio tutkimukset. [5.]. Tilaajaohjeessa ei määritellä otettavien laboraatio kokeiden määrää, vaan sen joutuu jokainen tutkimuksen tarjouksen tekijä itse määrittämään tarjousvaiheessa. Tilaajaohjeen puutteen vuoksi tarjouksen tekijän ammattitaito korostuu, jotta saadaan riittävän luotettava tutkimusraportti tilaajan käyttöön.

Kuntotutkimus tulee tilata riittävän laajana ja lähes poikkeuksetta pitää se tehdä Betonteollisuuden tilaajan ohjeen laajaa mallia käyttäen. Laajaa mallia käyttäen sekä riittäväen laboraatio tutkimuksilla saadaan tutkimuksesta tarpeeksi kattava ja luotettava lähde tulevalle suunnittelulle. Laajalla kuntotutkimuksella vältetään yli- tai alikorjaaminen sekä taataan rakennukselle elin ikää vuosikymmeniksi eteenpäin. Tämä edellyttää, että yhtiö päätyy tekemään kuntotutkimuksen suositeltavat kunnostustoimenpiteet.



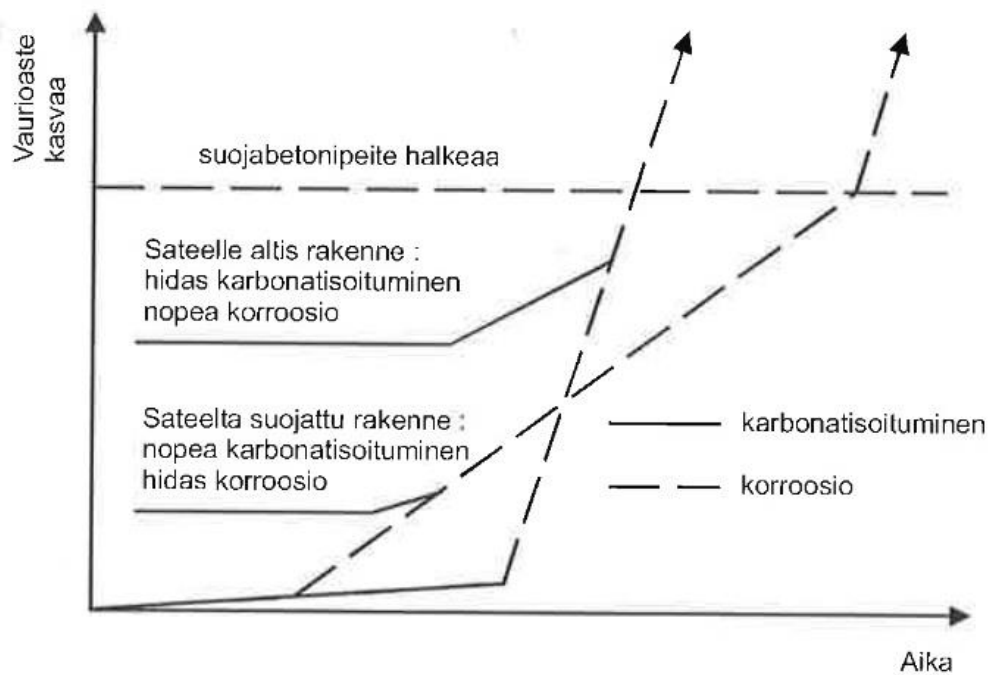
Kuva 2. Kuntotutkimuksen kustannuksien määräytyminen [4 s.69, kuva 5.4.]

3.2 Julkisivun kuntotutkimuksessa huomioon otavat rakenteita vaurioittavat tekijät

3.2.1 Raudotteiden korrosio

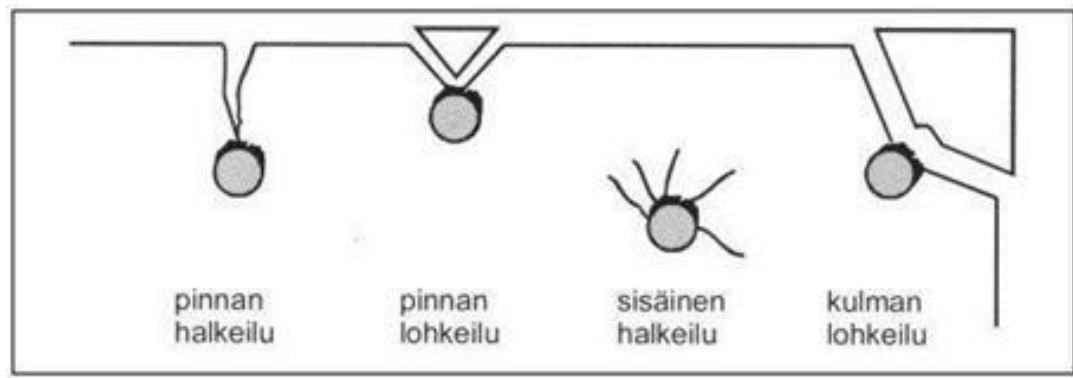
Raudotteet ovat pääsääntöisesti normien mukaan rakennettuna riittävällä suojabetonilla varustettuna hyvin korroosiolta suojattuja. Teräksien pinnoille muodostuu ohut oksidikalvo korkeasta betonin alkalisuudesta johtuen. Pinnalle muodostunut oksidikalvo ei anna käynnistää sähkökemiallista korroosiota eli teräksen passivoitumista. Riittävän paksulla ja tiiviillä betonikerroksella suojataan raudoitusta aggressiivisilta aineilta kuten klorideilta ja hapoilta. [4 s. 20.]

Korroosion käynnistymisvaihe on aika, jonka kuluessa betoni menettää suojauskykynsä. [4 s. 20.] Tänä aikana korroosionopeus on passivoitumisesta johtuen merkityksettömän pieni. [4 s. 20.] Käynnistymisvaiheen pituuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ympäristöolosuhteet, suojabetonin paksuus sekä betonin laatu. [4 s. 20.] Aktiivinen korroosio on aika, korroosion alkamisesta rakenteen kelpoisuuden menetykseen asti, jonka jälkeen korjaus on aloitettava. [4 s. 20.] Ympäristön kosteusolosuhteet vaikuttavat sekä karbonatisoitumiseen että korroosion etenemiseen. [4 s. 20.]



Kuva 3. Korroosion vaiheet kuivissa ja kosteissa olosuhteissa BY42 s.21 kuva 3.1

Korroosion seurauksena raudotteiden pinnalta irtoaa materiaalia, käytännössä niiden poikkileikkauspinta-ala sekä rakenteellinen kantavuus pienenee. Korroosiolle altistuneet teräkset tarvitsevat huomattavasti lähtökohtaa isomman tilavuuden. Tilavuuden kasvu aiheuttaa betonipinnan sekä betonin sisäistä halkeilua. [4 s. 20.]



Kuva 4. Kuntotutkimuksen kustannuksien määräytyminen [4 s. 22, kuva 3.2]

Raudoitteita voidaan suojata korroosiolta seuraavilla asioilla:

- hyvälaatuisella betonilla
- käytettävillä pinnoitteiden ja huolehtimalla niiden kunnosta (estämällä/ hidastamalla veden, hiilidioksidin ja kloridien tunkeutumista betoniin)
- käyttämällä joko sinkittyä tai ruostumatonta terästä, tapauskohtaisesti voidaan käyttää epoksinnoitettuja raudoituksia kloridipitoisissa betoneissa
- katodisuojausten käyttämisellä.

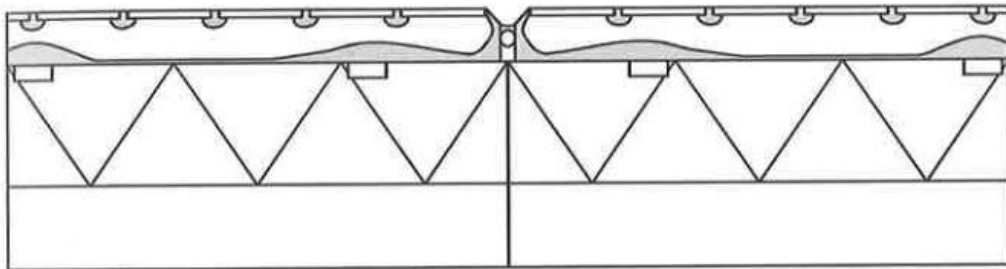
3.2.2 Betoni rakenteiden karbonatisoituminen

Karbonatisoituminen on betonin neutraloitumisreaktio, jonka seurauksena sen huokosveden pH arvo laskee. [4 s. 22.] Reaktiot aiheuttavat ilmassa olevan hiilidioksidin tunkeutumisen betonin sisään. Betoni menettää karbonatisoitueessaan korroosiolta suojaavan ominaisuutensa. [4 s. 22.] Betonin huokosrakenne ja kosteuspiitoisuus vaikuttavat siihen, miten nopeasti hiilidioksidi tunkeutuu betoniin. Halkeamat lisäävät hiilidioksidin tunkeutumista paikallisesti. Betonin huokosrakenteeseen ja tiiviyteen vaikuttavat eniten betonin hydratoitumisaste ja vesisementtisuhte. Vesisementtisuhteen pienentyessä sekä samaan aikaan lujuuden kasvaessa tiiveys lisääntyy voimakkaasti. Koska karbonatisoituminen tapahtuu rakenteen pinnalta alkaen, on betonin huolellisella jälkihoiolla erittäin suuri merkitys. [4 s. 22.]

Karbonatisoitumisen edetessä syvemmälle rakenteeseen hiilidioksidin pääsy karbonatisoitumis vyöhykkeelle vaikeutuu, näin ollen karbonatisoitumis nopeus hidastuu ja voi tiiviin betonin ulkorakenteessa lähes pysähtyä. Karbonatisoituminen lähes pysäh-

tyy erittäin kuivissa oloissa (kosteuden tulee olla alle 30 % RH), käytännössä reaktio tapahtua ainoastaan vesiliuoksessa. [4 s. 23.]

Erilaiset tiiviit keraamiset laatat ja pinnoitteet suojaavat sekä hidastavat betonin karbonatisoitumisen etenemistä. Tekovaiheessa tiililaatat imevät betonista vettä ja tekevät siitä tiiviimpää. Sandwich-elementtien eristetilän heikko ilman vaihtuvuus vaikuttaa karbonatisoitumiseen. [4 s. 22.] Näin ollen karbonatisoitumissyvyydet ovatkin yleisesti ottaen selvästi pienempiä elementin ulkokuoren taustapinnoilla. [4 s. 25.]



Kuva 5. Tyypillinen karbonatisoitumisen eteneminen klinkkerilaattaelementeissä BY42 s 25 kuva 3.5

Parvekerakenteissa on havaittu, että sateelta suojassa olevat pinnat karbonisoituvat nopeammin kuin sateelle alttiit pinnat. Erityisesti se on havaittavissa parvekelaattojen alapintojen varsin nopeana karbonatisoitumisena.

3.2.3 Klordit

Betonissa riittävän korkeana olevana, niin sanotun kynnyсарvon ylittävä kloridipitoisuus voi käynnistää betoni raudoitteiden korroosion, jopa sellaisessa betonirakenteessa, joka ei ole karbonisoituneella alueella. Kloridien määränä voidaan pitää noin 0,03...0,07 painoprosenttia betonin painosta. Kloridipitoisuus voidaan myös ilmoittaa painoprosenttina sementin painosta. [4 s. 25.]

Betoniin on voinut päästä klorideja betonin valmistuksen yhteydessä tai ulkoisista rasituslähteistä. Ulkoisia rasituslähteitä ovat tuulen kuljettama merivesi rannikkoseuduilla sekä jään sulatukseen käytettävät suolat. [4 s. 25.] Betonin valmistuksessa saattaa olla käytetty kalsiumkloridia (CaCl_2) kiihdyttävänä lisäaineena julkisivu- ja parveke-

elementeissä, korroosion kynnyksarvoon verrattuna määrä voidaan ylittää moninkertaisesti. [4 s. 25.]

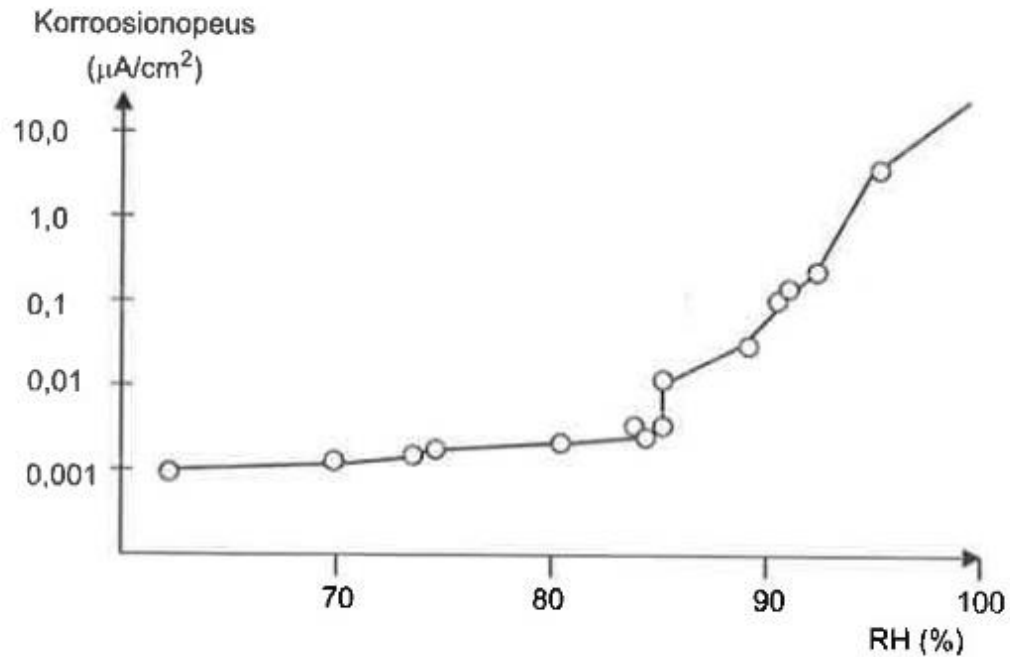
Raudoitteen korrosio tapahtuu kloridikorroosiossa yleensä pistemäisesti ja se on hyvin voimakasta, varsinkin jos kloridit ovat tunkeutuneet kovettuneeseen betoniin. Korrosiotuotteet liukenevat helpommin betonin huokosveteen kuin karbonatisoitumisesta johtuvassa korroosiossa näin kloridikorrosio saattaa edetä hyvin pitkälle ennen kuin vaurioita voidaan havaita päällepäin. Kloridikorrosio saattaa käynnistyä normaalia alemmassa lämpötilassa tai kosteuspitoisuudessa. [4 s. 25.] Betonin karbonatisoituminen luovuttaa sementtikiveen sitoutunutta kloridia huokosveteen, jonka on todettu kiihdyttävän kloridikorroosiota. [4 s. 25.]

3.2.4 Korroosion nopeus betonissa

Teräksien korroosionopeuteen karbonatisoituneessa ja/tai kloridipitoisessa betonissa vaikuttavia tekijöitä ovat:

- huokosverkoston kosteuspitoisuus, joka vaikuttaa elektrolyytin määrään ja toisaalta hapen saantiin
- rakenteen lämpötila, jonka kohoaminen nopeuttaa korroosiota
- betonin kloridipitoisuus
- betonin tiiviys
- raudoitteen suojabetonin paksuus, kosteuspitoisuuden ja käytettävissä olevan hapen määrä.

Huokosverkoston suhteellisen kosteuden lisääntyessä kasvaa betonin sähkönjohtavuus huomattavasti. Teräksen korroosion katsotaan yleensä käynnistyvän, kun suhteellinen kosteus betonissa ylittää 65 - 70 % RH. Merkittävästi sen nopeus kasvaa suhteellisen kosteuden noustessa yli 80 - 85 % RH. Huokosverkoston täytyminen vedellä vähentää hapen diffuusiota rakenteeseen, mutta korroosion jatkumisen kannalta sitä on aina riittävästi. [4 s. 26.]



Kuva 6. Karbonatsoituneessa betonissa olevan teräksen korroosionopeuden riippuvuus suhteellisesta kosteudesta. Kloridikorrosio voi saavuttaa maksiminopeutensa jonkin verran alhaisemmassakin kosteuspitoisuudessa. BY42 s26 kuva 3.6

Rakennukset sijaitsevat Suomessa pääsääntöisesti sääolosuhteiltaan sellaisissa olosuhteissa joissa korroosion käynnistyminen on mahdollista. Betonirakenteen kosteustilasta ei voida tehdä päätelmiä, koska ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee hyvinkin paljon.

Aktiivinen korroosiovaihe ennen näkyviä korroosiovaurioita voi kestää tyypillisesti useitakin vuosia siitä, kun karbonatsoituminen on saavuttanut raudoitteen (edellyttää että raudoitteet eivät ole aivan pinnassa). Aktiivisen korroosion nopeuteen vaikuttavat betonin kosteustila ja lämpötila. Sateelle alttiissa pinnoissa aktiivinen korrosio etenee nopeammin kuin sateelta suojatutuissa pinnoissa. Halkeaman syntymiseen kuluvaan aikaan vaikuttavat lisäksi mm. raudoitteen halkaisija ja betonin peitepaksuus. Lähellä ulkokuoren taustapintaa olevat raudoitteet eivät välttämättä aiheuta syöpyessään lainkaan halkeamia ulkokuoren ulkopintaan. Halkeamien syntymisen jälkeen korrosio yleensä kiihtyy. Korroosiotuotteet voivat myös kulkeutua betonin pinnalle huokosveden mukana. [4 s. 26, 27.]

3.2.5 Korroosion vaikutus rakenteissa

Ulkoseinärakenteet

Korroosion ongelmallisia alueita muodostuvat elementtien reuna- ja pieliteräkset, joissa peitepaksuudet ovatkin puutteellisia sekä niiden karbonatisoituminen pääsee etene- mään kaikilta kolmelta sivulta. Kuntotutkimuksissa tulee pieliteräksien korroosioriskiä arvioida erikseen, arvioinnissa tulee kiinnittää huomiota erityisesti otsa- ja nurkkapin- toihin. Pielielementeissä on tyypillisesti vain 2-3 %:lla peitepaksuus alle 10mm, mutta alle 15mm peitepaksuuksia on jo 5 – 10 %. Eri vuosikymmenille eriteltyt tutkitut peite- paksuudet puoltavat tätä. Yleisesti on todettavissa, että pienemmät peitepaksuudet ovat klinkkeri-, tiililaatta- tai pintatarvikkeita käytetyissä elementeissä. [4 s. 27.]

Kuntotutkimuksessa on tärkeää ottaa huomioon korroosion vaikutus rakenteiden kes- tävyyteen ja turvallisuuteen. Teräskorroosion irrottama betonikappale voi pudotessaan aiheuttaa materiaalisia tai fyysisiä vahinkoja. Muita tärkeitä tutkimuksen kohteita on ansaspaarteiden tai muiden kiinnitys osien korroosion tai niiden tartunnan heikkenemi- nen. Nauhaelementtien korroosiossa on kiinnitettävä huomiota staattiseen raudoituk- seen. Alkuvaiheessa korroosiosta aiheutuvat haitat ovat lähinnä kosmeettisia ja ne rajoittuvatkin pieli- ja verkkoraudoitteisiin. Ulkokuoren kiinnitysvarmuus tai lujuus ei vielä tässä vaiheessa vaarannu, vaaraa aiheutuu kun korroosio on edennyt todella pit- källe. Kerroksellisissa pesubetonipintaisissa elementti rakenteissa voi jo alkuvaiheen korroosio heikentää rakennetta, sillä betonikerroksien rajapinnassa sijaitsevat raudoite- verkot voivat ruostuessaan irrottaa kerrokset toisistaan. [4 s. 27.]

Parvekerakenteet

Parvekkeiden ongelmakohtia ovat ohuet kaiderakenteet. Riittämättömät betonipeite- paksuudet kaiteissa ovat tyypillisimpiä ongelmakohtia. Näiden vaikutukset kaiteissa ovat kuitenkin yleensä esteettisiä. Turvallisuutta vaarantaa korroosion aiheuttamat loh- keilut hoikissa rakenteissa, joka vaikuttaa sen kestävyteen. Parvekepielin betonin laa- tu sekä niiden rengasterästysten pienet suojabetonipeitteet ovat tyypillisiä ongelmakohtia. [4 s. 28.]

Parvekelaattojen yläpinnoissa kosteusrasitus on alhainen, korroosio onkin todetusti hidasta ennen kuin näkyviä vaurioita syntyy. Parvekelaattojen alapinnoissa raudoittei- den peitepaksuudet ovat tyypillisesti varsin pieniä ja karbonatisoituminen on saavutta-

nut raudoitteita varsin laajasti, mutta kosteus rasituksen vähäisyyden vuoksi myös alapinnan raudoitteiden korroosio on varsin hidasta. Aktiivinen korroosio on nopeinta vedeneristämättömissä laatoissa, huonosti toimivien vedenpoistorakenteiden kohdilla ja kosteutta keräävissä liitosrakenteissa ja yksityiskohdissa. Parvekelaattojen alapinnan korroosiovaurioita esiintyy erityisesti silloin kun parvekkeiden vedenpoisto on toteutettu laatan ja kaiteen välisellä raolla. Laatan alareunoilla on usein havaittavissa puutteita tippauran puuttumisena, joka lisää korroosio vauriota. [4 s. 28.]

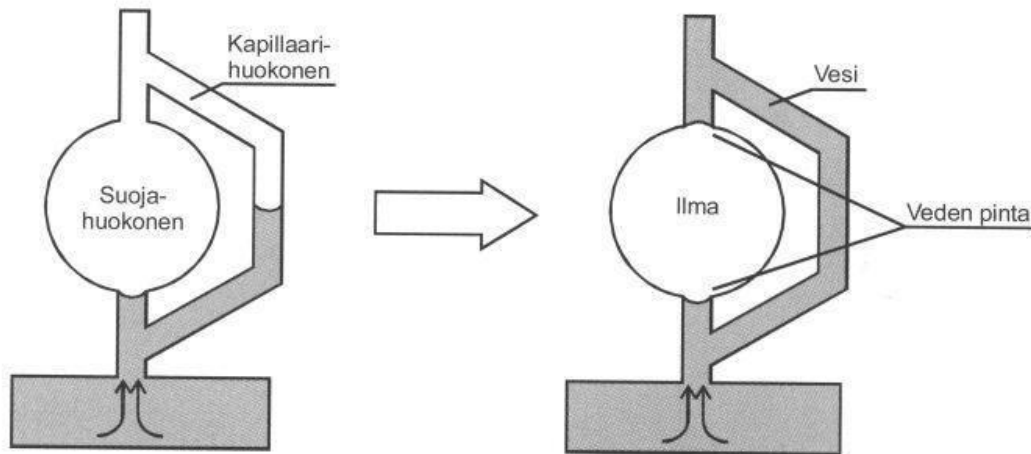
3.2.6 Betonin rapautuminen

Yleistä

Betonia rapauttavat turmeltumisilmiöt ovat ettringiittireaktio, pakkasrapautuminen ja alkalirunkoainereaktio. Yksittäistapauksina muutkin rapautumisilmiöt ovat kuitenkin mahdollisia. Rapautumista ja sen syytä on vaikea tunnistaa silmämääräisesti, koska rapautumisilmiöiden aiheuttamat vauriot ovat hyvin samankaltaisia. [4 s. 28.] Pakkasrapautuminen on kuitenkin yleisin rapautumisilmiö parvekkeissa sekä betonijulkisivuissa. Yhdistävänä tekijänä rapautumisilmiöillä on korkeat kosteusrasitukset. [4 s. 28.]

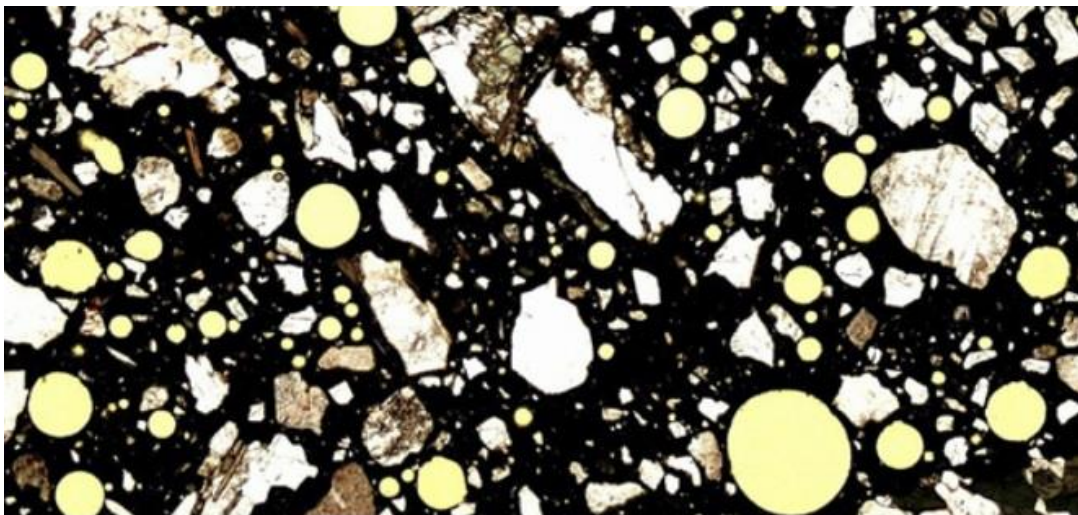
3.2.7 Pakkasrapautuminen

Pakkasrapautumista aiheuttava tekijä on sen kapillaarihuokosissa olevan veden jäätymisestä aiheutuva paineen lisäys. Vesi laajenee jäätyessään ja sen tilavuus kasvaa noin 9 tilavuusprosenttia. Eli huokosissa oleva kosteus jäätyessään laajenee ja huokostilan täytyttyä rikkoo se betonin.

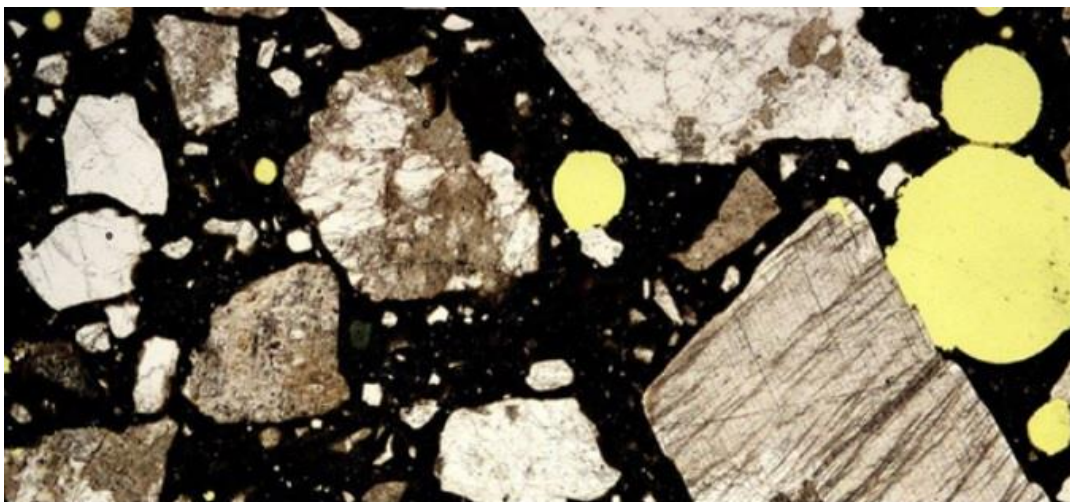


Kuva 7. Suojahuokosten toimintaperiaate veteen kosketuksissa olevassa betonissa [4 s. 29, kuva 3.8]

Vapaa vesi laajenee jäätyessään noin 9 tilavuusprosenttia, tästä syystä on betoniin saatava suojahuokosia. Suojahuukosien avulla se kestää jäätymistä tulevan paineen. Suojahuukokset ovat siis betonissa olevia ilmahuukosia, joita on oltava riittävän tiheästi ja niiden on oltava riittävän pieniä, joihin laajeneva vesi pääsee tunkeutumaan. Suojahuukosten tehtävä on vastaanottaa halkeilematta paineen lisäys betonissa, joka johtuu veden jäätymisestä. [4 s. 28.] Suojahuukosten keskinäinen välimatka on oltava riittävän pieni ja niitä on oltava riittävästi. Suojahuukosia onkin oltava riittävä määrä tasaisesti jakautuneena ja niiden välimatkat on pysyttävä riittävän pieninä. [4 s. 28, 29.]



Kuva 8. Onnistunut lisähuokostus (keltaiset pallot ovat suojahuukosia), ilmamäärä 4,1 % ja suojahuukosjako 0,22mm. [Arto Koskiahde]



Kuva 9. Epäonnistunut lisähuokostus (keltaiset pallot ovat suojahuokosia), ilmamäärä 3,8% ja suojahuokosjako 0,53mm [Arto Koskiahe]

Vain käyttämällä lisähuokostus aineita saadaan aikaiseksi riittävän tiheä suojahuokostus. Havaittu sopiva suojahuokoskoko pitää olla 0,15–0,30 mm sekä niiden keskinäinen välimatka toisiinsa saa olla enintään 0,20–0,25 mm. Suojahuokostusta ei kuitenkaan saa olla liikaa, koska tällöin betoni menettää lujuus ominaisuuksiaan. Liika huokoisuus saattaa tulla pitkien kuljetuksien yhteydessä tapahtuvan sekoituksen seurauksena. Suojahuokostuksen tarkoitus onkin, että betonissa olevat kapillaarihuokosia suuremmat suojahuokokset eivät täyty vedellä, vaikka betoni olisi pitkään kosketuksissa veden kanssa. [4 s. 29.]

Riittävä ilmamäärä betonimassassa ei vielä takaa, että huokosten välimatka on pakkaskestävyyden kannalta riittävän pieni. Tietyllä ilmamäärällä on pyrittävä tuottamaan paljon pieniä ilmahuokosia sen sijaan, että tuotettaisiin vähemmän suurempia huokosia.

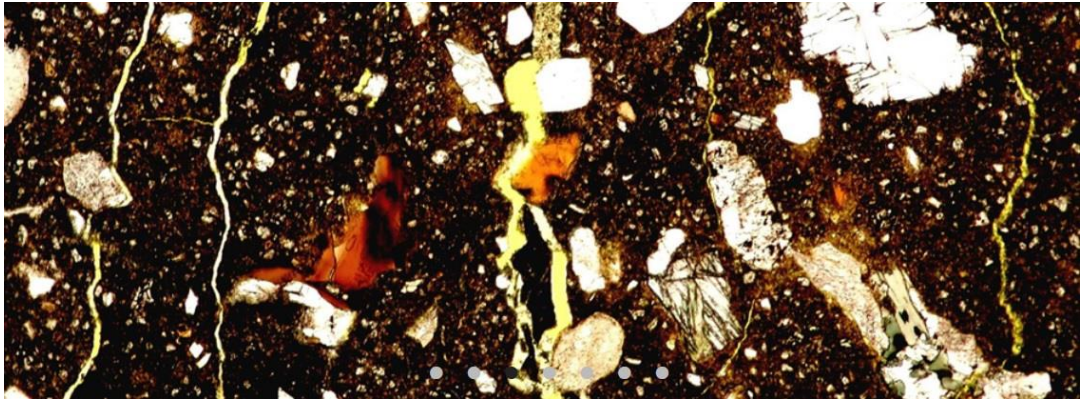
Lisähuokostimet otettiin käyttöön systemaattisesti vasta 1980 - luvulla. Vanhemmat huokoistamattomat betonirakenteet ovat saattaneet kestää pakkasrasituksen vaurioitumatta. Niiden edellytys on, että betoni on ollut tehdessä riittävän tiivistä ja rakenteen kosteusrasitustaso pysyy vähäisenä. Ennen 1980-lukua valmistuneissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa suojahuokostus on ollut puutteellista, erityisesti pesubetonissa ja klinkkerilaattaisissa julkisivuissa sekä parvekepielissä on se epäonnistunut

yleisesti. Vanhojen betonirakenteiden korjausten yhteydessä on aina pyrittävä alentamaan kosteusrasitusta, jolla taataan rakenteelle mahdollisimman pitkä elinkaari.

Pakkaskestävyyteen vaikuttaa lisähuokostuksen ohella betoniin tiiviys. Alhainen vesi-sementtisuhte vähentää vedenimukykyä sekä jäätyvän veden määrää. [4 s. 31.] Alhaisesta vesi-sementtisuhteen seurauksena betonin lujuus kasvaa. Betonin lujuuden kasvattaminen viime vuosina (julkisivubetoneissa aina K45) on aiheuttanut keskustelua siitä tarvitaanko betonia enää ollenkaan lisähuokostaa vai riittääkö pelkästään lujuuden kasvattaminen pakkaskestävyyteen. Tämän hetken tietämyksen mukaan lisähuokostus on välttämätöntä pakkaskestävyyden saavuttamiseksi. [4 s. 31.]

Betonin laadun ohella vaurioiden syntymiseen vaikuttavat julkisivujen rasitusolosuhteet ja rasitus syklien lukumäärä. Pakkasrasitusolosuhteet ovat ankarampi rannikolla kuin sisämaassa. Pakkasrapautumia on havaittu olevan avoimessa ympäristössä olevissa rakennuksissa, korkeiden rakennusten yläosissa ja nurkissa, joissa viistosaderasitus on voimakasta. [4 s. 32.]

Pakkasvaurioituminen ilmenee betonin säröilyinä, ne nopeuttavat veden imeytymistä ja heikentävät betonin lujuutta. Pitkäaikainen rasitus rapauttaa lopulta betonin, joka heikentää betonin puristuslujuutta, vetolujuutta sekä raudoituksen tartuntaa. Pakkasrapautumisen ollessa alkuvaiheessa on sitä lähes mahdotonta havaita silmämääräisesti tai rakennetta vasaroimalla, se vaatiikin tarkempia tutkimusmenetelmiä. Pakkasrapautuman edettyä pitkälle voidaan se havaita rakenteen pinnassa esiintyvänä halkeamina, elementtien kaareutumisenä tai jopa betonin lohkeiluna. Pakkasrapautuman havaitseminen alkuvaiheessa on tärkeää, jotta rasitusta alentaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä ajoissa. [4 s. 30, 31.]



Kuva 10. Pakkasrapautunutta betonia ohuthienäytteessä [Arto Koskiahde]



Kuva 11. Varhaispakkasrapautuman seurauksena lujuutensa täysin menettänyt betonilaatta [Kristian Koskenniemi]

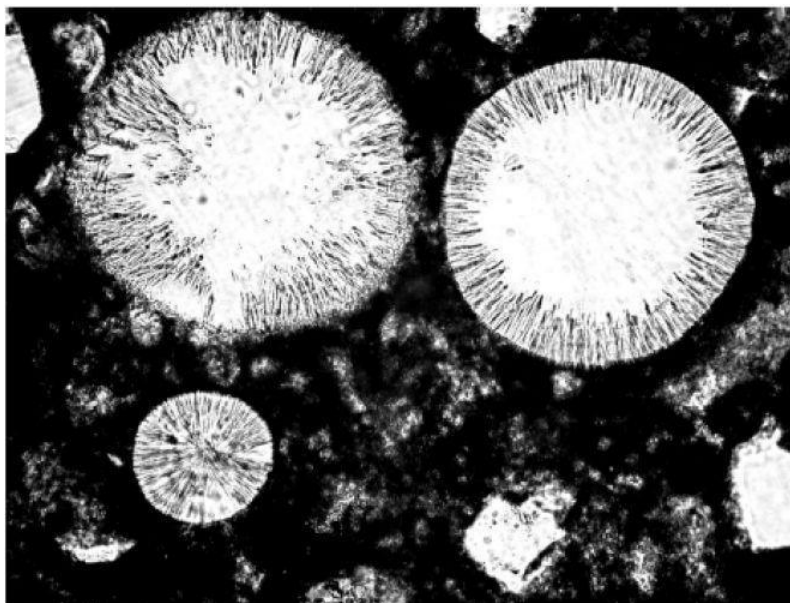


Kuva 12. Parvekelaatan poranäytteessä on havaittavissa pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa [Kristian Koskenniemi]

3.2.8 Ettringiittireaktio

Ettringiittireaktioksi sanotaan kovettuneessa sementtikivessä tapahtuvaa sulfaattimateriaalista kemiallista reaktiota, jonka seurauksena on reaktiotuotteiden tilavuuden kasvu. Kiteytyneen ettringiitin tilavuuden kasvu saattaa olla 130 - 140 % lähtöaineiden tilavuuteen nähden. [4 s. 33.]

Ettringiittireaktion aiheuttaa betonin kovettumisvaiheen aikana tehty voimakas lämpökäsittely. Lämpökäsittely aiheuttaa häiriö tekijöitä sementin kovettumisreaktioon. Ettringiittireaktion riski on suurin elementeissä, jotka altistuvat käytössä suurelle kosteusrasitukselle. [4 s. 33.]



Kuva 13. Ettringiitti täytteitä pallomaisissa suojahuokoisissa [4 s. 34, kuva 3.14.]

3.2.9 Alkalirunkoainereaktio

Alkalirunkoainereaktio on laajenemisreaktio, jossa alkalinen kiviaines laajenee ja se rapauttaa laajetessaan betonia. Alkalikiviainesreaktio voi syntyä betonirakenteessa seuraavin edellytyksin:

- käytetty sementti sisältää riittävästi alkaleja (Na, K)
- kosteuspitoisuus betonissa on riittävän korkealla.
- kiviaines on heikosti alkalisuutta kestävä

Alkalikiviainesreaktiosta kärsivälle betonirakenteelle on tyypillistä pinnan kosteudesta johtuva laikukkuus, epäsäännöllinen verkkohalkeilu ja paisuminen sekä halkeamista ulos tunkeutuva geelimäinen reaktiotuote. Vauriot muistuttavat pakkasrasituksen aiheuttamaa halkeilua ja ne esiintyvät useasti samanaikaisesti. Merkittävin ero vaurioissa on syntyneen halkeilun rakenne, joka pakkasvaurioissa on lähellä pintaa kun taas alkalikiviainesreaktioissa halkeilu syntyy tasaisemmin koko betonirakenteeseen. [4 s. 35.]

Alkalirunkoainereaktio on Suomessa harvinainen ilmiö, sillä käytetyt syväkivilajit ovat kemiallisesti hyvin kestäviä. Alkalikiviainesreaktion riski kasvaa kalliosta murskattavan kiviaineksen käytön lisääntyttyä, koska kallioperän vaihtelut ovat jo ehtineet homo-

genisoitua nykyään käytettävissä irtomaalajeissa. Erityisesti ulkomaisen kivilajikkeiden käyttäminen niin ikään lisää mahdollista riskiä. [4 s. 35.]

3.2.10 Rakenteiden rapautumisen vaikutus

Ulkoseinäelementit

Ulkokuoriranteiden kerroksellisuudessa rapautuma aiheuttaa raudotteiden ankkuroinnin heikkenemistä (esim. pesubetonissa). Rakenteen kantavuuteen ulkokuoren betonin lujuuden heikkenemisellä ei ole vaikutusta. Ulkokuoret eivät ole rakennusrungon kantavaa osaa, toisaalta ne voivat olla tarpeen kantavan betonin jäykistyksien tasaamisen vuoksi. [4 s. 36.]

On mahdollista, että kerroksellisissa ulkokuorissa erityisesti pesubetonisissa rapautuminen voi vaarantaa rakenteen kiinnitysvarmuuden. Taustabetonin rapautuminen vaarantaa koko ulomman kerroksen kiinni pysymisen, myös pienempien osien irtoaminen on mahdollista. Taustabetonin rapautuminen on silmämääräisesti vaikeasti havaittavissa, koska se tapahtuu taustalla olevissa rakenteissa. [4 s. 35.]



Kuva 14. Täysin rapautunut ja lujuuden menettänyt ulkokuoren poranäyte, näyte on otettu 1970-luvun maalipintaisesta julkisivuelementistä [Kristian Koskenniemi]

Pakkasrapautumista on havaittu tyypillisesti pesubetoni- ja klinkkerilaattapintaisissa elementeissä, joiden pakkasenkestävyydessä on eniten puutteita. [4 s. 36.]

Parvekerakenteet

Heikkolujuuksista betonia (lujuus \leq K25) on käytetty yleensä pielissä ja kaiteissa, jonka vuoksi rapautumista havaitaan eniten näissä rakenteissa. Lisäksi ohuet betonirakenteet kuten pilarit ovat riski alttiita rapautumiselle. Havaitut vauriot ovat yleisimpiä paikoissa, joihin kohdistuu voimakasta kosteusrasitusta, kuten kaiteiden yläreunat ja pielielementtien ylä- ja etureunat. Huonosti toteutetut liittymäratkaisut lisäävät rapautumisriskiä kuten laastisaumat pieli- ja laattaelementeissä, joiden kautta kosteus imeytyy rakenteisiin. [4 s. 37.]

Pielielementeissä laaja-alainen rapautuminen vaarantaa parveketornin kantavuuden. Jo yhdenkin pielielementin rapautuminen vaarantaa parveketornin kantavuuden. Kaiteissa rapautuminen heikentää sen kiinnityksiä sekä lisääntynyt halkeilu nopeuttaa korroosion etenemistä betoniraudoiteissa. Ohuissa pilareissa rapautuminen ulottuu herkästi koko poikkileikkauksen läpi vaarantaen niiden kantavuuden. [4 s. 37.]

Betonin rapautuminen ei ole yleistä elementtirakenteisissa parvekelaatoissa. Suurimpana syynä voidaan pitää niissä käytetyn betonin korkeampaa lujuutta (lujuus $\geq K30$), tiiviyyttä ja pinnoitteiden käyttöä. Heikompileaatuisella betonilla rakennetut paikalla valetut parvekelaatat sen sijaan ovat alttiimpia rapautumiselle varsinkin etureunoistaan. Syynä tähän on vedenpoisto etureunan yli sekä puutteellinen vedeneristys. [4 s. 37.]

3.3 Kosteustekniset toimivuuspuutteet

Sääolosuhteista johtuen julkisivu ja parveke rakenteet altistuvat voimakkaalle kosteusrasitukselle. Ulkoseinien osalta myös sisältä tuleva kosteusvirralla saattaa olla merkitystä, jos näitä vasten on pesu- tai saunatiloja. Vauriomekanismien käynnistymiseen ja etenemisnopeuteen on siis kosteusrasituksen intensiteetillä merkittävä vaikutus. [4 s. 37.]

Useimpien julkisivu ja parveke rakenteisiin liittyy rakenteita, jotka ohjaavat kosteuden kulkua ohi kriittisten paikkojen, tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi:

- elementtien väliset saumat niin parvekerakenteissa kuin julkisivussakin sekä ikkuna- ja oviliitokset
- tuulettavuuteen ja eristetilojen vedenpoiston rakenteet
- kaikki pellitykset
- räystäsrakenteet
- betonipintojen maalaus- ja pinnoituskäsittelyt
- parvekkeiden vedenpoistoon liittyvät järjestelyt
- parvekelasitukset
- erilaisen koristeverhoukset, ritilät, aurinkosuojat yms.

Näiden toimivuus ja kunto vaikuttaa merkittävästi rakenteiden kosteusrasitustasoon ja niiden kuivumismahdollisuuksiin. [4 s. 38.]

Julkisivu rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden riskejä ovat siis lähinnä kaikki liitokset ja niiden huolellinen rakentaminen.

Parvekkeissa merkittävin yksityiskohta on laatan yläpinnan vedeneristys sekä vedenpoiston ja kaatojen toteuttaminen. Pielielementtien pinnoitteiden kunto, sekä mahdolliset kovat laastisaumat saattavat aiheuttaa voimakasta kosteusrasitusta rakenteisiin.



Kuva 15. Parvekelaatan etureunan yli johdetun vedenpoiston aiheuttama vaurio [Kristian Koskenniemi]

3.3.1 Elastisten saumamateriaalien turmeltuminen

Elastisten saumojen tiiveys vaikuttaa merkittävästi seinän kosteusrasitukseen. Niiden kestävyteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- ulkoiset rasitukset
- saumamassan laatu, poikkileikkaus ja oikea massapaksuus
- sauman leveys tulee olla oikea suhteessa elementin kokoon
- pintojen materiaali, laatu, esikäsitteily, puhtaus ja kosteus
- työolosuhteet sekä mahdolliset pinnoitukset.

Elementti saumaukseen nopeasti syntyneet vauriot viittaavat työvirheisiin ja huonoihin työolosuhteisiin, 5 – 10 vuoden kuluttua uusimisesta tulevat halkeamat johtuvat liian kapeista saumoista suhteessa elementtien kokoon ja yli 15 vuoden jälkeen tulevat vauriot johtuvat jo massan kovettumisesta. Massa on menettänyt elastisuutensa eikä kykene ottamaan vastaan elementtien lämpö- tai kosteusliikkeitä. [4 s. 39.]

3.4 Julkisivun kiinnityksien vaurioituminen

3.4.1 Sandwich-elementtien kiinnitysten vaurioituminen

Kiinnitysvauriot ovat mahdollisia sandwich-rakenteiden kuorielementeissä. Rakenteesta johtuen sisäkuoren kiinnikkeet ovat lähes sisäilmasto olosuhteissa, siksi niiden vaurioituminen on harvinaista. [4 s. 39.] Betonirunkoon tehtävä eristeen sisällä oleva kiinnitys onkin harvoin riskialtis. Sandwich-elementeissä ulkokuoren kiinnityksen heikentyminen todetaan seuraavilla tavoilla:

- ulkokuoren pakkasrapautumisen johdosta ansaiden tai muiden kiinnikkeiden tartunnan heikkeneminen [4 s. 39.]
- betonipeitesyvyyden vähyyys ansaissa sekä kosteuden tiivistyminen ulkokuoreen ovat puutteellisia, ruostuvasta teräksestä tehtyjen ansaspaarteiden korroosio aktivoituu eristeen puolelta tapahtuvan voimakkaamman karbonatisoitumisen johdosta [4 s. 39.]
- ruostuvan teräksen korroosio eristetilän ankarissa olosuhteissa saattaa heikentää kiinnikkeen tartuntaa ulkokuoreen. Ruostuvasta materiaalista valmistettujen kiinnikkeiden korroosiosuojausta on tehty betonoimalla, bitumoimalla, tai sementtiin kastamalla, mutta se on osoittautunut epäluotettavaksi ratkaisuksi. [4 s. 40.]

Ruostumattomasta teräksestä valmistetut kiinnikkeet sekä ansaat ovat todetusti pitkäikäisiä, mikäli tartunta säilyy kiinnittäviin rakenteisiin. Ansaspaarteiden liian pieni peitesyvyys aiheuttaa ulkokuoren puutteellisen kiinnityksen. Lisäksi kiinnikkeiden tartunta ulko- tai sisäkuoreen voi olla puutteellinen tai kiinnikkeitä voi olla elementin kokoon nähden liian vähän. [4 s. 40.]

Kuorielementtien kiinnitysosat voivat olla suojaamattomina puutteellisesti eristetyn seinän eristetilassa ja siten alttiina ankarille korroosio-oloille. Tehdyt betoni-, bitumi- tai sementtisuojaukset ovat saattaneet pakkovoimien vaikutuksesta halkeilla tai karbonatisoitua ja menettää suojauskykyään. Kuorielementtien kiinnitysosia on usein varsin vä-

hän, siksi niiden vaurioituminen voi aiheuttaa välittömän turvallisuusriskin. Kiinnitysosien hitsaus saattaa olla tehty puutteellisesti tai ne voivat olla syöpyneitä. Kiinnityslevyn tartuntatankojen korroosio ja betonin rapautuminen tai lohkeilu kiinnitysten läheisyydessä voi aiheuttaa elementtien kiinnitystä. [4 s. 40.]

3.4.2 Parvekerakenteiden kiinnitysten vaurioituminen

Parvekerakenteiden sidonta- ja kannatus ratkaisuissa havaittuja ongelmia ovat:

- eristehalkaisun läpi vietyjen rataakiskojen ja betoniterästen korroosio ulokkeellisilla tuilla, mahdollisista työvirheiden johdosta laatan yläpinnan terästen painumista, mikä johtaa siihen, että käytettyjen uloketerästen tehollinen korkeus pienenee ja jää pienemmäksi kuin on suunniteltu [4 s. 40.]
- vaakasidonta parveketorneissa puutteellinen tai korroosion heikentämä sidonta [4 s. 40.]
- pakkasrapautuman raudotteiden tartunta alueet sekä ripustettujen parvekkeiden kannatusteräokset ovat korroosion heikentämiä [4 s. 40.]
- kantavien rakenteiden hitsausliitoksissa olevasta korroosiosta ja työvirheistä [4 s. 40.]
- teräskorroosion johdosta betonin lohkeamisen vuoksi pienenneet tukipinnat [4 s. 40.]
- juotosvalujen rapautumisen takia heikkenevät liitokset sekä vanhojen parvekkeiden päälle tehtäviä painoa lisääviä toimenpiteitä kuten ruiskubetonointi ja lisävalutyöt. [4 s. 40.]

3.5 Pintatarvikkeiden turmeltuminen ja irtoaminen

Klinkkeripintojen irtoaminen on ongelmana elementeissä, niiden irtoaminen johtuu seuraavista ilmiöistä:

- laattojen ja betonin pituuden lämpötilakerroin on erilainen, laatoilla se on vain noin puolet betonin lämpötilakertoimesta. Kosteuspitoisuuden muutoksista aiheutuvat muodonmuutokset ovat keraamisilla laatoilla pieniä. Kummankin materiaalin kimmomoduulit ovat suurehkoja. Lisäksi betonin kutistumasta aiheutunut leikkauspakkovoima kohtaa laattojen tartuntavyöhykkeen. Nämä muodonmuutokset voivat johtaa siihen, että syntyvät pakkovoimat ylittävät laattojen tartuntalujuuden, jolloin irtoaminen tapahtuu. Muodonmuutoserosta johtuvalle irtoamiselle on tyypillistä, että laatto-

ja irtoaa erityisesti elementin reunojen läheltä, missä ei ole betonista saumaosuutta [4 s. 41.]

- puutteellisesta tuuleuksesta ja betonin heikosta pakkasenkestosta johtuva ulkokuoren betonin pakkasrapautuminen saa aikaan laattojen tartunnan pettämisen [4 s. 41.]
- klinkkerilaatan takana olevan raudoitteen korroosion aiheuttama paine aiheuttaa laattojen irtoamista. Ilmiö on yleinen varsinkin elementtien reunoissa ja aukkojen pielissä, missä raudoitteen peitepaksuuden ovat monissa tapauksissa pieniä ja karbonatisoituminen voi edetä klinkkerilaattojen taakse joillein se käynnistää terästen korroosion [4 s. 41.]
- puutteellisesti tehty parveketornien vaakasidonta saattaa olla korroosion heikentämä. [4 s. 41.]

Tiililaatan pienemmästä kimmokertoimesta ja suuremmasta imukyvyystä johtuen tiililaatan tartunta betoniin on yleensä parempi kuin klinkkerilaatan. Tiililaatassa saattaa olla pakkasrapautuma ongelmana. Erityisen ongelmallinen kohta tiililaatappintaisissa julkisivuissa on laattapinnan yläpuolisen maalatun ja tiililaatan rajapinta, jossa ylimpiin laattoihin voi kohdistua suuri kosteusrasitus. Suuri kosteuspitoisuus ja pakkasrasitus aiheuttavat pakkasrapautumaa. Rajakohdassa tulisi olla veden kulkua ohjaava vesipelti. [4 s. 41.]



Kuva 16. Klinkkerilaatan irtoamista julkisivussa. [6 s. 12.]

3.6 Pintakäsittelyn vaurioituminen

Pintakäsittelyt voidaan luokitella erilaisilla perusteilla, joita ovat mm seuraavat:

- paksuus, tunkeutumissyvyys alustaan ja peittävyys
- kemiallinen koostumus (sideainetyyppi kuten orgaaninen, epäorgaaninen tai sekasideaineinen)
- kuivumistapa (liuottimen haihtuminen, kemiallinen reaktio)
- suojavaikutus tai käsittelyn tehtävä (vedeneristys, CO₂-suojaus, esteettinen tehtävä)
- läpäisevyys.

Pintakäsittelyt voidaan luokitella rappauksiin, ohutrappauksiin, pinnoitteisiin, maaleihin ja impregnointiaineisiin. Rappaus ja ohutrappaus ovat käsittelyjä, joiden paksuus on suhteellisen suuri 1-10 mm tai suurempi. Pintakäsittelyt, joiden paksuus on 0,5 mm luokitellaan pinnoitteeksi. Maaleja ovat pintakäsittelyt, joilla paksuus on suurempi kuin 0,1 mm. Pinta kalvoa muodostamattomat impregnointiaineita imeytyvät pinnoittavaan materiaaliin, niiden imeytyneisyyden tarkastelu vaatii tarkempia laboratorio tutkimuksia. [4 s. 42.]

Betonijulkisivujen maalipinnoitteen irtoaminen on tavallinen turmeltumisilmiö. Käytettyjen maalikäsittelyjen turmeltuminen riippuu yleensä maalin sideainetyypistä. Betonijulkisivun orgaanisten maalipinnoitteiden turmeltumista aiheuttavia tekijöitä ovat:

- auringon ultravioletti- ja lämpösäteily, joka aiheuttaa maalikalvossa kemiallisia muutoksia. Niiden seurauksena se haurastuttaa, kovettaa pinnoitetta ja aiheuttaa halkeilua pinnoitteeseen. Lämpösäteily kohottaa pinnoitteen lämpötilaa, mikä nopeuttaa vanhenemisilmiötä [4 s. 43.]
- voimakas kosteusrasitus, kosteuden läpikulku pinnoitteen läpi, jos vettä pääsee ulkokuoren taakse esimerkiksi saumavuodoista [4 s. 43.]
- betonin korkean alkalisuus rasittaa maalien sideaineita. Alustassa vallitseva pitkäaikainen kosteuspitoisuus ja alkalisuus aiheuttavat pinnoitteiden tartunnan heikkenemisen [4 s. 43.]
- betonin kuivuessa pinnoitteen taakse kiteytyy suoloja, niiden johdosta syntyvä paine voi aiheuttaa pinnoitteen vaurioitumista [4 s. 43.]
- pakkasenkestävyydeltään tai lujuudeltaan heikko kerros betonin pinnassa saa aikaan pinnoitteen irtoamisen. Maalipinnoitteen tiiveyden johdosta ul-

koseinärakenteen läpi kulkeva diffuusio saattaa keräytyä pinnoitteen taakse, joka kohottaa pinnan pakkasrapautumista [4 s. 43.]

- julkisivun mekaaninen rasitus voi vaurioittaa maalipinnoitetta. [4 s. 43.]

Pinnoitteen kestävyyttä heikentää usein tehdyt työvirheet. Työvirheitä ovat kosteat, epäpuhtaat ja sileät alustat, vanhan pinnoitteen päälle tehtävä uusi pinnoitus sekä betonissa olevat valurakkulat, joiden johdosta pinnoite jää epäyhtenäiseksi. [4 s. 44.]

Epäorgaanisten (esimerkiksi sementti- tai kalkkisementtimaalit) maalipinnoitteiden vaurioituminen liittyy usein pinnoitteen tartunnan epäonnistumisesta, joko heti alkuvaiheessa tai pakkasvaurioiden johdosta. Tartunnan ollessa kunnossa, pinnoite turmeluuikin hitaasti. Kulumisen havaitaan värin häviämisenä sään aiheuttaman eroosion vaikutuksesta. [4 s. 44.]

Vauriot maalipinnoilla ovat yleensä esteettisiä, kosteusteknisesti rasitetut suojaavat pinnoitteet, kuten vedeneristys ja CO₂-tiivit pinnoitteet vaurioituessaan menettävät suojaavan vaikutuksen. Suojavaikutus heikkenee kun pinnoite alkaa vaurioitua, siksi heikkokuntoinen pinnoite lisää raudoitusten korroosioriskiä ja kosteusrasitusta. [4 s. 44.]

3.7 Betonirakenteiden halkeilu sekä muodonmuutokset julkisivussa

Betonirakenteen halkeamat voivat aiheutua seuraavien tekijöiden vuoksi:

- betonin kovettumien
- kovettuneen betonin kuivumiskutistumat
- plastiset kutistumat
- rakenteiden kutistuma erot
- ulkoinen kuormitus vaikutus
- tukipintojen siirtymät
- lämpötilamuutokset
- pakkasrapautuminen
- raudoitteiden sisäinen korroosio paine. [4 s. 45.]

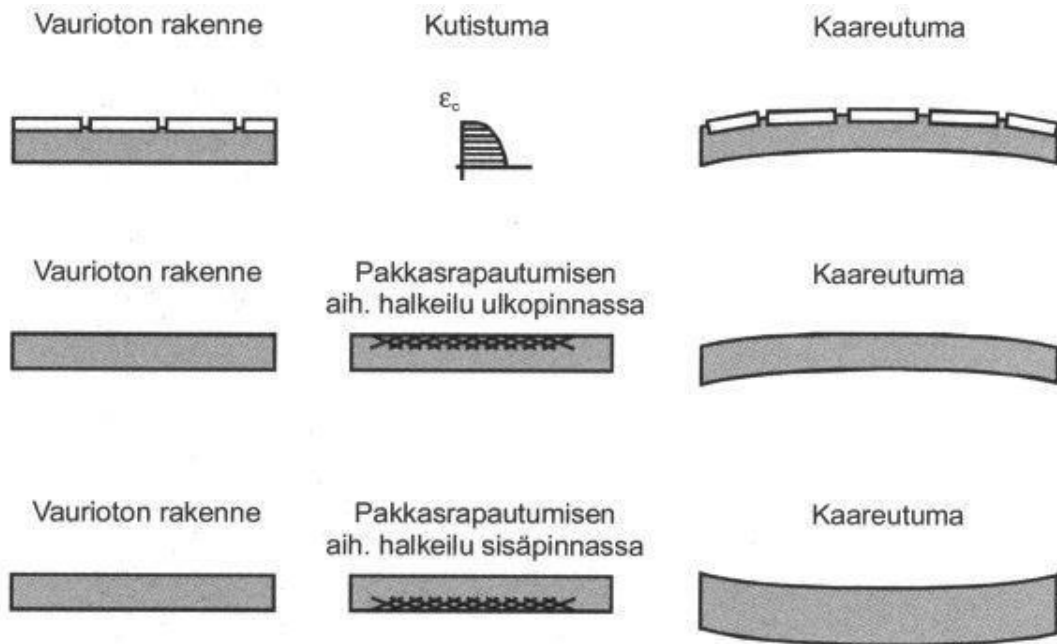
Halkeamisista voi aiheutua säilyvyys-, esteettis- ja rakenteellista haittaa. Vaikutukset riippuvat halkeaman syvyydestä ja leveydestä. Halkeamat aiheuttavat paikallisia korrosiovaurioita, koska haitalliset aineet (kloridit, hiilidioksidi) pääsevät tunkeutumaan halkeamia pitkin syvälle betoni rakenteisiin aina raudoitukseen asti altistaen ne ulkoilman kosteudelle. [4 s. 45.]

3.7.1 Ulkoseinäelementit

Julkisivu elementteihin saattaa syntyä halkeamia, joko valmistuksen tai asennuksen kuluessa erilaisista nostoista, siirroista sekä mahdollisista törmäyskontakteista. Elementeissä käytetyt kiinnikkeet ja ansaat pyrkivät estämään kuorielementin liikkeitä kantavaan betoniin nähden. Näistä syntyneet pakkovoimat voivat aiheuttaa halkeamia elementin ulkokuoressa. Pitkälle edennyt raudoitteiden korrosio sekä pakkasrapautuminen saattaa aiheuttaa rakenteissa halkeamia, jotka näkyvät ilman tarkempia tutkimuksia. [4 s. 45.]

Elementin kaareutumisen syynä ovat levyn paksuussuuntaiset muodon muutos erot, jollin kaareutuminen tapahtuu vähemmän kutistuvan tai paisuvan pinnan suuntaan. Elementin kaareutuminen tapahtuu sen pinnan suuntaan, joka kutistuu vähemmän. Kaareutumiseen vaikuttaa elementin kiinnitystapa sekä koko. Sandwich-elementeissä kiinnitys ansaat rajoittavat kaareutumista. Koska kiinnitykset ovat vähäisempää kuorielementeissä, pääsevät ne kaareutumaan vapaammin. [4 s. 46.]

Ullakkokerroksissa käytetyt pelkät kuorielementit ovat huomattavasti kaareutuneempia kuin muualla rakennuksessa käytetyt elementit. Elementin kaksikerroksisuus sekä betonimassan erottuminen aiheuttavat pysyvää kaareutumista kuorielementtiin. Kaksikerroksinen rakenne ulkokuorissa kuten pesubetoni-, tiililaatta- tai klinkkeripinta, joissa pintakerroksen kutistumaominaisuudet poikkeavat merkittävästi taustabetonin ominaisuuksista, jonka johdosta aiheutuu niihin pysyviä kaareutumia. [4 s. 46.]



Kuva 17. Julkisivun kaareutumismekanismeja [4 s. 46, kuva 3.20]

Pakkasrapautumisen aiheuttama betonirakenteen paisuminen johtaa elementin kaareutumiseen. Kaareutumisen suunta riippuu rapautumisen sijainnista. Esimerkiksi pesubetonipintaisessa elementissä pesubetonikuoren taustabetonin rapautuessa ja paisuessa elementti kaareutuu sisäänpäin. [4 s. 46.]



Kuva 18. Julkisivun kuorielementin kaareutumista [Kristian Koskenniemi]



Kuva 19. Julkisivun kaareutuneita pesubetoni elementtejä [Kristian Koskenniemi]

3.7.2 Parvekkeet

Parvekerakenteet ovat elementtirakennuksissa pääosin ulkoilmassa. Ne ovat ankaran säärasituksen kohteena ja liikkuvatkin lämpötilan ja kosteuden vaihtelun seurauksena. Liikkeiden määrä kasvaa rakennuksen korkeuden suhteessa. Väärin mitoitetuna parvekerakenteiden rungosta otetut siteet tai kannatuspalkit estävät parvekerakenteiden lämpö- ja kosteusliikkeistä johtuvia muodonmuutoksia. Virheen seurauksena syntyvät jännitykset voivat olla niin suuria, että ne rikkovat rakenteita. Erityisen suuri halkeama-vaara on pitkissä rakenteissa, jotka on toteutettu ilman liikuntasaumaa. Paikalla valetuissa nauhaparvekkeissa on laattaan voinut syntyä niin suuri vetovoima rataakiskokannakkeista, että parvekelaatta katkeaa. [4 s. 47.]

3.7.3 Aiemmat korjaukset

Rakennusten julkisivuissa ja parvekerakenteissa on vaurioittamista saattanut kiihdyttää aiemmin suoritettuja virheellisiä korjauksia. Virheitä on tehty mm. materiaalivalintojen ja työtapojen kohdalla. Esimerkiksi julkisivujen pinnoittaminen liian tiiviillä pinnoitteella nostaa rakenteeseen kohdistuvaa kosteusrasitusta estämällä rakenteeseen päässeen kosteuden kuivumista. virheellisesti asennetut pellitykset voivat ohjata veden suoraan rakenteen sisälle. Lisäksi on otettava huomioon korjausten kestoikä, joka on tyypillises-

ti rajallinen. Esimerkiksi kevyen pinnoitus ja paikkakorjauksen käyttöikä voi olla vain 10 vuotta. [4 s. 48, 49.]

3.8 Haitta-aineet kuntotutkimuksissa

3.8.1 Asbesti

Asbesti on pitkänomainen kuitumainen mineraali, jota on käytetty koska se lisää materiaalin lujuutta ja palonkestoa sekä antaa suojaa kosteushaitoille ja kemiallisille räsituksille.

Julkisivuilla käytetyistä, usein alkydisideaineisissa pinnoitteissa sekä levytuotteissa on käytetty asbestia. Käytetyimmät tuotemerkit ovat olleet Kenitex VK, K ja EH. Lisäksi asbestia sisältäneet korkki-Kenitex sekä Flekson, Decoralt ja Gencoat. Yleisimmin käytetyt levytuotteet ovat olleet Minerit-, Vartti- ja tupla-Vartti levyt. [4 s. 48.]

Asbestin käyttö lopetettiin rakennusmateriaaleissa 1988 ja vuoden 1993 jälkeen on se ollut kiellettyä.

3.8.2 Mikrobit

Rakennuksen homeongelmasta puhuttaessa tarkoitetaan rakennusmateriaaleissa tapahtuvaa bakteerien sekä mikrosienien normaalia suurempia kasvupitoisuuksia. Mikrobeista homeet ovat mikrosieniin kuuluvia pieneliöitä, jotka lisääntyessään tuottavat itiöitä ja niiden kasvava osa on soluketjujen muodostama rihmasto. Rakenteiden kosteusteknisten toimivuuspuutteiden seurauksena haitallista homekasvustoa alkaa muodostumaan rakenteisiin. [4 s. 48.]

Homekasvustoa tavataan betonielementtirakenteissa lämmöneristeen ulkopinnassa, josta epätiivien liitoskohtien tai rakojen kautta homeitiöt sekä niiden aineenvaihduntatuotteet saattavat johtua huoneistojen sisäilmaan. [4 s. 48.]

3.8.3 PCB- ja lyijy-yhdisteet

PCB-yhdisteitä eli polykloorattuja bifenyylejä tavataan vanhoista elementtisaumoista. Ne ovat pysyvyydeltään pahimpia ympäristömyrkkyjä. [4 s. 49.]

PCB-yhdisteitä ja lyijyä on lisätty 1950- luvun loppupuolta lähtien polysulfidipohjaisiin saumaussmassoihin. PCB-yhdisteitä on käytetty mahdollisesti ainakin vuoteen 1979 asti sekä lyijyä vuoteen 1989 asti. [4 s. 49.]

3.8.4 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteet eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt muodostuvat keskenään sitoutu-neista bentseenirenkaista. Niiden ominaisuus on voimakas hajua. PAH-yhdisteitä tava-taan lähinnä julkisivun kuntotutkimuksien yhteydessä parvekkeiden, vesikattojen ve-deneristeissä sekä sokkeleiden vedeneristyksenä. [4 s. 49.]

Edellä mainitut yhdisteet tulee ottaa huomioon korjaustöitä tehdessä, ne eivät kuiten-kaan vaaraa kuin pölyävien työvaiheiden aikana, jolloin niiden purkutyöt ovat luvanva-raista toimintaa.

4 Betonijulkisivujen korjaustapoja

Kuntotutkimuksen avulla pyritään saamaan tietoja rakennuksen rakenteiden kunnosta ja korjaustarpeesta. Sen avulla saadaan tietoa mahdollisista korjaustavoista sekä tietoa siitä mitkä korjaustavat ovat mahdollisia toteuttaa ja mitkä eivät ole taloudellisesti tai rakenteellisesti järkeviä. Kuntotutkimus toimii aina varsinaisen korjaussuunnittelun läh-de aineistona, johon korjaussuunnittelija tukeutuu suunnitelmissaan.

4.1 Korjaustoimenpiteitä

Julkisivun ja parvekkeiden betonirakenteiden korjaustarvetta pohdittaessa tulee aina harkita tehtävien kunnostusten kriittisyyden tarpeellisuus. On mahdollista, että kunnos-tuksiin tulee ryhtyä välittömästi tai voidaanko niitä lykkäämällä päästä taloudellisesti järkevämpään lopputulokseen, eli tehdä niin sanottu rakenteiden loppuun ajo. [4 s. 50.]

Korjaamatta jättämistä voidaan pitää perusteltuna ratkaisuna silloin, kun rakenteessa on runsaasti näkyviä betonin lohkeamisia joita korroosioauriot ovat aiheuttaneet sekä tiedetään, ettei vauriomekanismia pystytä enää luotettavasti pysäyttämään. Valittu loppuun ajo edellyttää rakenteen ulkonäön heikkenemisen sallimista. Lisäksi pitää varmistua, ettei lisävaurioitumisesta aiheudu turvallisuusriskiä. Valitussa tavassa ajetaan rakenteet käyttöikänsä loppuun ja tehdään perusteellinen rakenteiden uusinta myöhemmin. Liittyvien rakenteiden heikko kunto voi olla korjaamatta jättämisen perusteluna. Julkisivuille tehtäviä kunnostuksia joudutaan joskus myös siirtämään rakennuksen kannalta kriittisempien kunnostustöiden vuoksi. Valitettavan usein putkiremontti ajoittuu samaan ajankohtaan rakennuksen vaipan kunnostuksen kanssa ja se aiheuttaa sen, että julkisivu ajetaan loppuun vaikka se olisi taloudellisesti järkevämpi kunnostaa samaan aikaan.

4.2 Pinnoitus- ja paikkakorjaukset

4.2.1 Kevyet pinnoituskorjaukset

Huoltomaalaus periaatteella tehtävät niin sanotut kevyillä pinnoituskunnostuksilla käsitetään betonirakenteiden uudelleen pinnoittamista sekä liittyvien pienten paikkakorjausten tekemistä. Yleensä vanha pinnoite jätetään alle eikä sitä ei poisteta. Vanhan pinnoitteen poistaminen on aina eduksi, sillä silloin paljastuvat rapautuma- ja korroosioauriot sekä ne tulevat siten korjatuksi laajemmin. Samaan aikaan tehdään vain pienet liittyvät kunnostustyöt. [4 s. 51.]

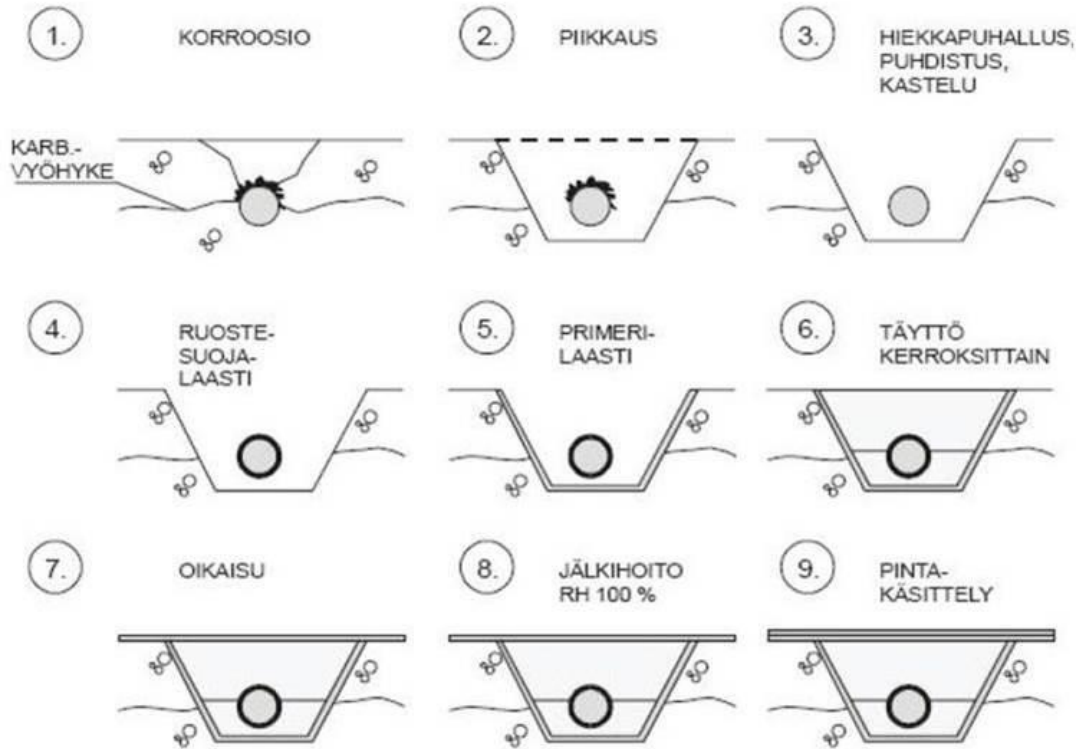
Korjauksen tyypillinen tapa on tehdä vain näkyvien vaurioiden paikkaukset. Hanke suunnitellaan tehtäväksi yleensä liian kevyenä huoltomaalauskorjauksena, eikä siihen sisälly erityistä laadunvarmistusta. Työn laatu sisältää suuria riskejä, sillä kunnostuksen käyttöikä riippuu voimakkaasti valitun urakoitsijan huolellisuudesta. Valitsemalla hankkeeseen valvojan vastaamaan laadunvarmistuksesta, voitaisiin kunnostuksen kestoikään liittyviä riskitekijöitä alentaa. [4 s. 51.]

Jos pinnoitus kunnostus tehdään huolellisesti, voidaan huoltomaalauksellakin vähentää rakenteen kosteusrasitusta sekä hidastaa vaurioitumista, tämä edellyttää oikein valittuja hengittäviä pinnoitteita. Samanaikaisesti suositellaan tehtäväksi tarvittavat rakenteisiin liittyvät kunnostukset, kuten saumat ja pellitykset. [4 s. 51.]

Huoltomaalaus on perusteltu vaihtoehto vain hyväkuntoiseen rakenteeseen ja siihen ei ole odotettavissa vaurioita lähitulevaisuudessa. Rakenteet ovat siis joko suhteellisen uusia rakenteita tai jo kertaalleen kunnostettuja ja tarvitsevat suojaavaa pinnoitusta rasiustason alentamiseksi. Toimenpide voidaan harkita myös huonokuntoisen kohteeseen, kuitenkin on pidettävä mielessä että kunnostuksella saadaan vain arviolta viiden vuoden lisääaika betonirakenteille. Korjauksella saavutettua käyttöiän lisäystä on lähes mahdotonta arvioida. Monesti kevyt pinnoituskorjaus kuuluu normaaliin hyväkuntoisen rakenteen käyttöiän jatkamiseen. [4 s. 51.]

4.2.2 Perusteellinen laastipaikkaus- ja pinnoituskorjaus

Perusteellisena laastipaikkauskorjauksen rajana voidaan pitää vesihiekkapuhalluksen suorittamista. Vesihiekkapuhalluksessa betonirakenteessa lähellä pintaa olevien korrosiovaurioiden tai rapautumisvaurioiden paljastamista, niiden näkyviin tulevien teräksien piikkaamista ja paikkaamista laastipaikkaustekniikoin. Kunnostus tulee olla huolellisesti suunniteltu, korjattavien kohteiden ennakkokartoitus sekä korjaustyön laadunvalvonta ovat osa huolellista kunnostustyötä. Kunnostuksessa on kartoitettava tulevaisuudessa odotettavissa olevat korroosiokohdat. Pienillä betonipeitteillä sijaitsevat korrosiotilassa olevat teräkset, jotka eivät rakenteen kannalta ole tärkeitä poistetaan, sillä niiden suojaaminen on usein hankalaa tai suhteellisen paljon kustannuksia aiheuttavaa työtä. [4 s. 51.]



Kuva 20. Laastipaikkauksen työvaiheet BY42 s 52 kuva 4.1

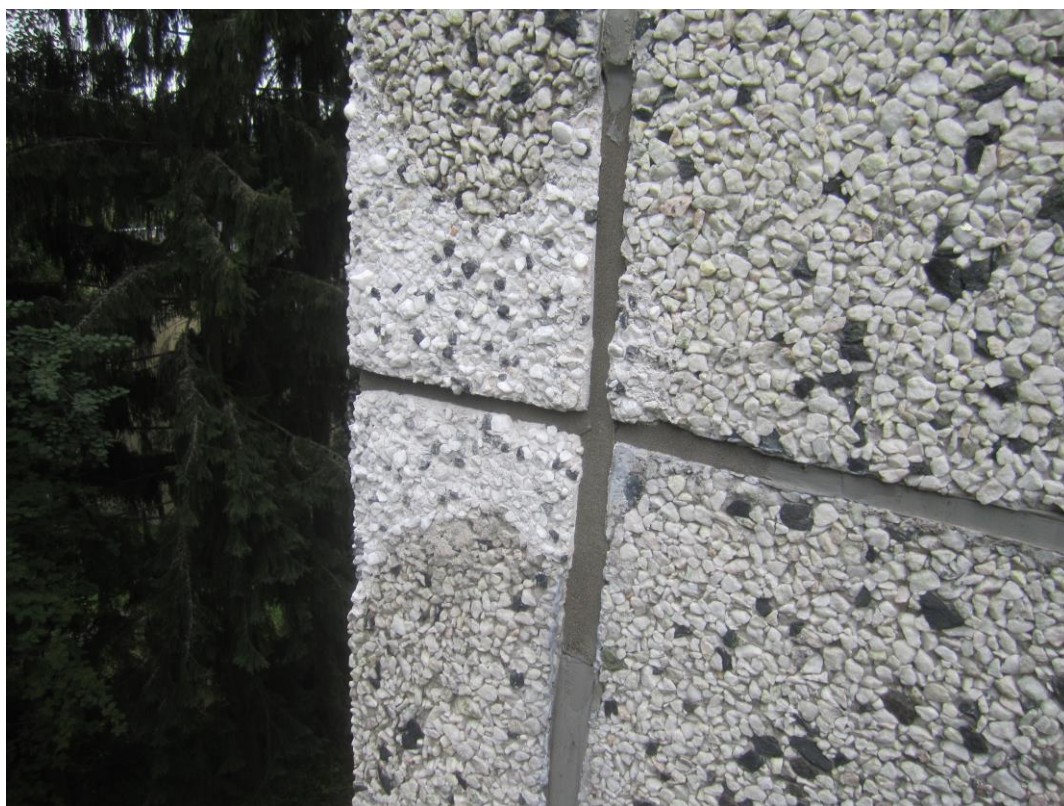
Perusteelliseen laastipaikkaukseen sisältää useita peräkkäisiä työvaiheita, joista kaikki ovat onnistuneen lopputuloksen kannalta kriittisiä. Tästä johtuen laastipaikkauksohjauksen tekeminen on korkeaa ammattitaitoa edellyttävää käsityötä. [4 s. 52.]

Laastipaikkauksohjaukseen liittyy aina lähes poikkeuksetta vanhan betonirakenteen tasoittaminen ja pinnoittaminen. Vanhat pinnoitteet poistetaan täydellisesti vesihiekka-puhaltamalla, jonka jälkeen tehdään esiin tulleet vauriokorjaukset betoninkorjausohjeen mukaisesti. Betonipinnat ylitasoitetaan ja pinnoitetaan uudelleen. [4 s. 52.]

Pinnoitteiden valinnassa tulee huomioida kunnostettavan rakenteen kosteusrasitus ja kosteuden kuivamismahdollisuudet. Kosteusrasitukselle joutuvat ulkoseinäpinnat on suositeltavaa käsitellä pinnoitteella, joka estää veden kapillaarisuuden imeytymisen betoniin ja kuitenkin mahdollistaa rakenteen kuivumisen ulospäin. Saderasitukselta suojaisimmat pinnat kuten parvekelaatan alapinta, pieliseinien sisäpinnat käsitellään pinnoitteella, joka on vesihöyryä läpäisevä. [4 s. 52.]

Riittävän laajasti tehdyn laastipaikkauskunnostus hidastaa tehokkaasti terästen korroosioon vaikuttavan karbonatisoitumisen etenemistä, perusteellinen korjaus soveltuukin parhaiten kohteeseen, jossa on vähän paikattavaa. Kosteusteknisesti oikeaoppisesti valittupinnoite hidastaa jo itsessään karbonatisoitumisen etenemistä. Mikäli paikattavaa on enemmän noin 1 m julkisivuneliötä kohden, alkavat kokonaiskustannukset lähentelemään jo halvimpien peittävien korjauksien kustannustasoa. [4 s. 53.]

Perusteellinen laastipaikkaus ei sovellu pesubetonipinnoille, pinnoilla erottuvat paikatut kohdat usein selvästi. Vanhaa vastaavan pintakiviaineksen löytyminen on haasteellista ja aiheuttavat kustannuksien kohoamista. [4 s. 53.]

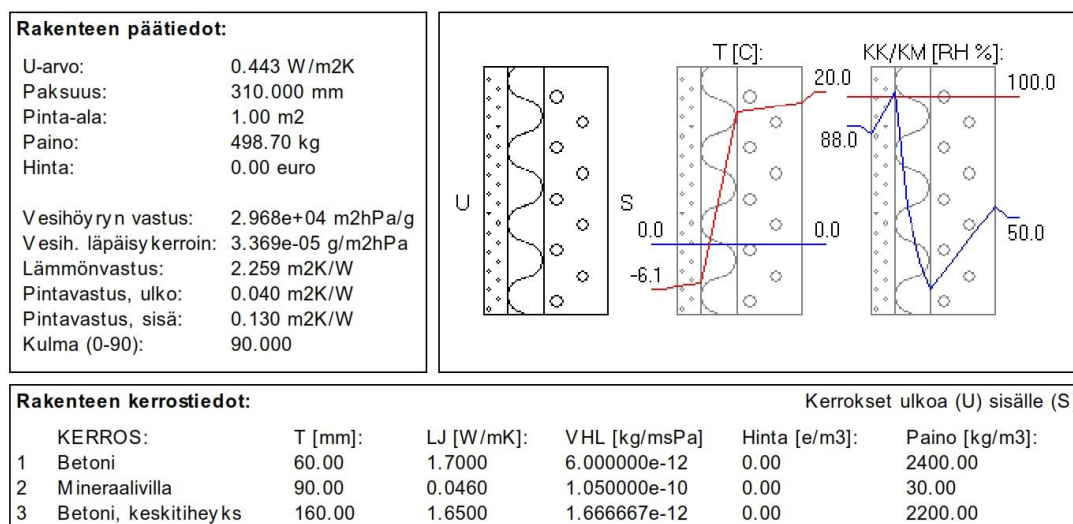


Kuva 21. Laastipaikkaus pesubetonipinnalla [Kristian Koskenniemi]

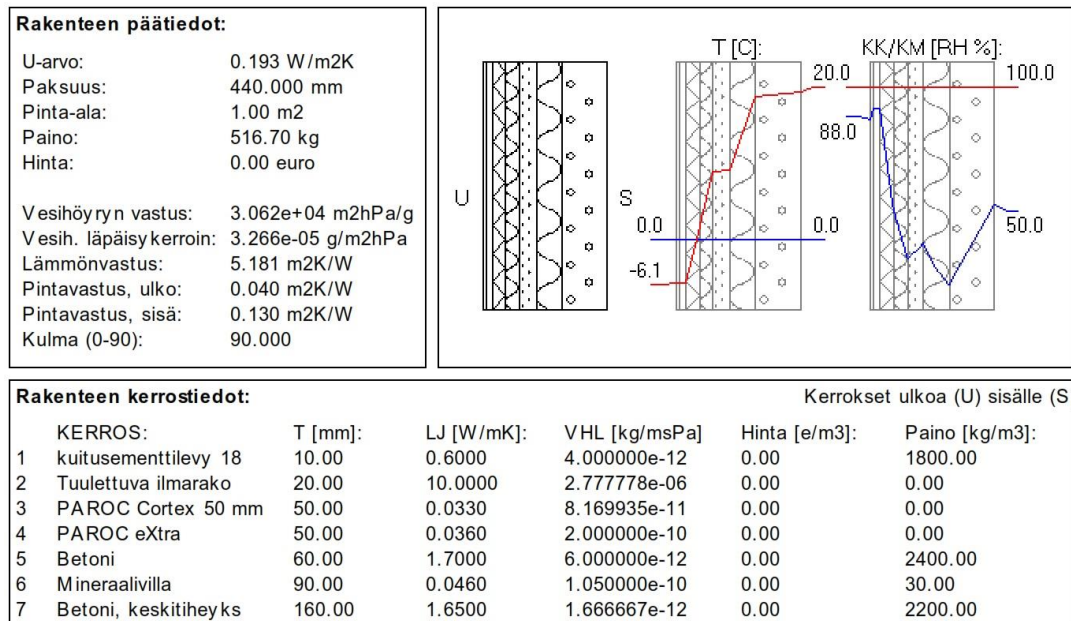
Rakenteissa joissa on havaittavissa yleisesti pakkasrapautumaa, ei pinnoitustyyppinen korjausmenetelmä estä vaurioiden etenemistä. Yleistä pakkasrapautumaa olevissa rakenteissa on aina harkittava peittäviä korjauksia, jotka suojaavat tehokkaammin vanhat rakenteet. [4 s. 53.]

4.3 Peittävät korjaukset

Peittävien korjauksien periaatteena on, että vaurioitunut rakenne peitetään uudella pintaverhouksella. Verhouksella saadaan useimmissa tapauksissa vähennettyä kosteusrasitusta huomattavasti, jolloin betonin rapautuminen lähes pysähtyy ja raudotteiden korroosio vähenee merkittävästi. Verhoustyön yhteydessä voidaan julkisivu myös lisälämmöneristää, usein se on jopa pakko tehdä, jotta päästään puolittamaan U-arvo rakennusluvan yhteydessä. Ulkopuolisella lämmöneristämällä saadaan tehostettua rakenteen kuivumista ja siitä saadaan rakennusfysikaalisesti toimiva rakenneratkaisu. Peittävissä korjauksessa vältetään usein vanhojen rakenteiden korjauksilta. Mikäli rakenteessa on käytetty korroosion kannalta haitallinen määrä klorideja, joko tunkeutuneena tai betoniin sekoitettuna, on kosteustekniseen toimivuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Kloridipitoiset rakenteet voidaan myös peittää, julkisivuelementeissä niiden esiintyminen on kuitenkin harvinaista. [4 s. 53.]



Kuva 22. Alkuperäisen sandwich elementin rakennusfysikaalinen tarkastelu Doflämpö ohjelmalla [Kristian Koskenniemi]

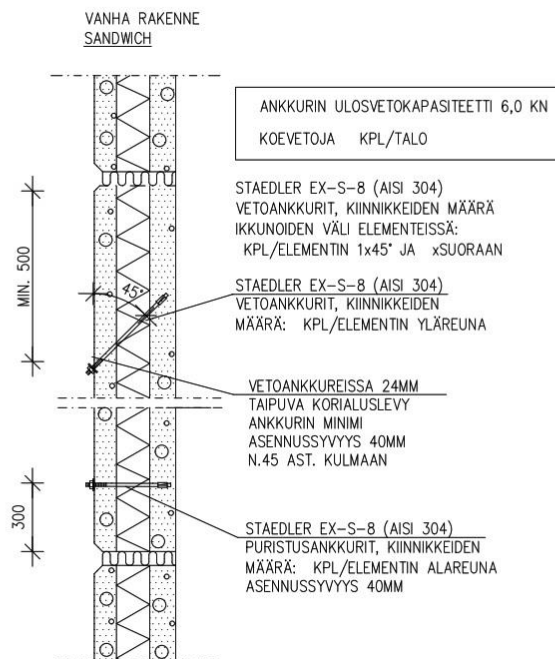


Kuva 23. Korjattuna yllä oleva elementtirakenne 100 mm lisäeristyksellä [Kristian Koskenniemi]

Yllä olevista tarkasteluista voidaan havaita julkisivun kosteusteknisen toimivuuden huomattava paraneminen. Sandwich-elementin ulkokuori jää pääsääntöisesti lämpimälle puolelle jolloin pakkasrapautuminen ja raudotteiden korrosio pysähtyvät. [4 s. 53.]

Kylmissä rakenteissa ei verhouksella terästen korrosiovaurioituminen pysähdy vaikka betonin rapautuminen lähes pysähtyy, erityisesti kloridikorroosion tapauksissa korrosio etenee ilmankosteuden johdosta. [4 s. 53.]

Kevyet verhoukset, kuten useimmat levyverhoukset, eristerappaus yms. voidaan kiinnittää ulkokuoreen, mikäli ulkokuori on riittävän luja ja sen kiinnitys riittävä. Kiinnitysvarmuutta on aina tarkasteltava tapauskohtaisesti. Ulkokuori tulee tarpeen vaatiessa lisäksi kiinnitettävä runkoon tai sisäkuoreen. Vanhan ulkokuoren purkaminen ei yleensä ole tarpeen. Purkaminen on järkevää vain erittäin pitkälle rapautuneiden tai kaareutuneiden elementtien osalta tai mikäli lämmöneriste on vaurioitunut. Mikäli ulkokuori puretaan, joudutaan myös lämmöneriste vaihtamaan, lämmön eristeen uusimisessa tulee ottaa huomioon betonirungossa olevat mahdolliset epätasaisuudet. [4 s. 54.]



Kuva 24. Alkuperäisen sandwich elementin varmistuskiinnitys esimerkki [Kristian Koskenniemi]

Peittävää korjausta käytetään, kun paikalliset korjaukset eivät enää ole teknisesti mahdollisia tai kustannuksiltaan mielekkäitä. Korjaustapaa käytetään usein silloin, kun sandwich-elementin ulkokuoren kiinnitykset ovat vaurioitumassa tai osin jo vaurioituneet. Peittävää kunnostusta käytetään, jos korroosio- tai rapautumavaurioita on näkyvissä niin runsaasti, ettei pintoja ole enää järkevää kunnostaa. [4 s. 54.]

Mittatarkoilla rankakiinnitteisillä tuulettuvilla ohutlevyrappauksilla tehtävillä korjauksilla päästään vanhan rakenteen mittapoikkeamat kunnostamaan. Ongelmia voivat aiheuttaa suorakulmamaisuuspoikkeamat ja ikkuna-aukkojen sijaintipoikkeamat. Vanhan rakenteen tarkka mittaaminen korostuu kunnostuksen yhteydessä. [4 s. 54.]

Eristerappausta käytettäessä kolhun kestävyys rajoittaa sen käyttöä maantasokerroksissa, niissä suositellaankin käytettäväksi keraamisia puristelaattoja. [4 s. 54.]

Puuverhouksen käyttö julkisivusaneerauksissa on vielä nykyisellään vähäistä, osin tähän liittyvät palotekniset syyt ja käsitykset. [4 s. 54.]

4.4 Purkaminen ja uudelleen rakentamien

Rakenteiden purkamisella ja uudelleen rakentamisella tarkoitetaan vaurioituneen julkisivun tai sen osan korvaamista uudella rakenteella. Vaihtoehto tulee kysymykseen silloin, kun vaurioituminen on edennyt pitkälle, eikä paikkaaminen tai päälle verhoaminen ole enää mahdollista teknisistä, kaupunkikuvallisista tai taloudellisista syistä. Purkaminen tulee kysymykseen myös silloin kun vanha rakenne ei ole kelvollinen uuden rakenteen alustaksi, tai vanhan rakenteen purkaminen on helppoa ja uudella rakenteella saadaan selvästi parempilaatuinen ja riskittävämpi lopputulos. Julkisivun osalta purkamistarpeeseen vaikuttaa myös päälle tehtävän verhouksen tyyppi, eristerappaus edellyttää vanhan kaareutuneen ulkokuoren purkamista, kun taas tuulettuva teräsrangan avulla asennettu levyverhous ei. Betoni sandwich rakenteen eristetilan laaja mikrobikasvusto saattaa olla lisäperuste ulkokuorien purkamiselle. [4 s. 55.]

Julkisivukorjauksen yhteydessä on huomioitava rakennusakustiikka, jos kohde sijaitsee liikenne- tai lentomelualueella. Rakenteita uusiva korjaus vaikuttaa rakenteiden materiaaliominaisuuksiin, rakennekerrosten massoihin sekä rakennekerrosten välisiin liitoksiin, joilla kaikilla on vaikutus ilmaääneneristävyyden kykyyn. [4 s. 55.]

Parvekkeiden rakenteita korvaamalla voidaan saada monesti alkuperäistä huomattavasti laadukkaampi lopputulos niin kestävyuden kuin käytettävyydenkin kannalta. Parvekkeissa on usein monikertainen, jopa 5 - 8-kertainen määrä kunnostettavia pintoja verrattuna lattiapintaan. Kunnostusmäärä saattaa kohottaa kustannukset lähes uusimisen tasolle. Elementtiparvekkeissa purkaminen on suhteellisen yksinkertaista. [4 s. 55.]



Kuva 25. Alkuperäinen ja kunnostettu rakennus, varustettuna lisälämmöneristyksellä ja uusilla suuremmilla parveketorneilla [Suomen Talokeskus Oy]



Kuva 26. Alkuperäinen ja kunnostettu rakennus, varustettuna lisälämmöneristyksellä ja uusilla suuremmilla parveketorneilla [Suomen Talokeskus Oy]

Joissakin tapauksissa purettavista rakenteista voidaan hyödyntää osia, esimerkiksi ulokeparvekkeiden kannatuskiskot. Vanhat kiskot voidaan puhdistaa, korroosiosuojata ja valaa niiden varaan uudet parvekerakenteet. [4 s. 55.]

4.5 Liittyvät korjaukset

Valittuun korjaustavan tulee aina vähentää kosteusrasitusta. Julkisivu- ja parvekekunnostuksien yhteydessä tulee lisäksi harkita, pitäisikö varsinaisten korjauksien ja kosteusrasituksen alentamisen yhteydessä toteuttaa myös muita liittyviä korjaustoimenpiteitä. Liittyviä korjaustoimenpiteitä ovat seuraavat toimenpiteet:

- korjaukset, jotka tulisivat muutoin tehtäväksi myöhemmin, mutta jotka voidaan toteuttaa tehokkaammin kunnostuksen yhteydessä:
 - ikkunoiden ja ovien uusiminen
 - salaojien- ja sadevesijärjestelmän rakentaminen
 - ulkovalaistuksen parantaminen
 - piha-alueiden kunnostaminen
- korjauksen yhteydessä avattavien, korjattavien ja liittyvien rakenteiden tarkastaminen.

Korjausten yhteydessä on aina huolehdittava, että rakenteiden kiinnitykset ja kannatukset ovat varmuudella kunnossa. Ongelma tapauksissa korjauksiin voi liittyä rakenteiden lisätukemista tai lisäkiinnittämistä. [4 s. 56.]

4.6 Rakenteiden kunnostuksessa käytettyjä erikoismenetelmiä

4.6.1 Inhibiittorit

Inhibiittorit ovat betoniin lisättäviä aineita, jotka hidastavat korroosion etenemistä karbonatisoituneessa tai kloridipitoisessa betonissa. Inhibiittoreita käytetään korjausrakentamisessa sekä betoniin imeytettyinä että korjauslaasteihin sekoitettuna. [4 s. 57.]

Betoniin imeytettävistä inhibiittoreista saadut tutkimustulokset ja käytännön kokemukset ovat toistaiseksi sellaisia, ettei niiden käyttöä voida suositella. [4 s. 57.]

4.6.2 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointi on korjaustapa, jossa betonimassa ruiskutetaan paineilman avulla rakenteen esikäsiteltyyn pintaan. Menetelmällä voidaan käsitellä rakenteiden pysty- ja alapintoja. Sillä voidaan saada aikaan alustaansa lujasti kiinnittyvä ja tiivis betonikerros, jonka karbonatisoituminen on hidasta. Tämän johdosta menetelmällä voidaan lisätä raudotteiden suojabetonikerrosta ja vahvistaa rakenteita. Ruiskubetonoinnilla saatava pinnan jälki ei ole sellaisenaan riittävä vaan se tulee tarvittaessa ylitasoittaa. [4 s. 58.]

Ruiskubetonointia suunnitellessa tulee huomioida omapainon lisäys noin 0,3 - 1,0 kN/m². Se ei myöskään sovellu heikko lujuuksille betonipinnoille. [4 s. 58.]

4.6.3 Betonin uudelleen alkalointi

Uudelleen alkaloinnilla tarkoitetaan betonin alkalisuuden kohottamista siten, että raudotteiden korroosiosuoja palautuu. Uudelleenalkaloiminen voidaan toteuttaa kahdella erilaisella menetelmällä. [4 s. 58.]

Sähkökemiallinen uudelleenalkalointi eli realkalointi:

Sähkökemiallisessa uudelleenalkaloinnissa karbonatisoituneen betonin alkalisuutta kohotetaan imeyttämällä betonin huokosverkostoon alkalista natriumkarbonaattiliuosta väliaikaisen, rakenteen ulkopuolisen anodijärjestelyn ja heikon sähkövirran avulla. Käsittely kestää tyypillisesti noin viikon, jonka jälkeen anodijärjestely puretaan. Uudelleen anodisointi ei tunkeudu karbonatisoitumattomaan betoniin, joten käsittely on tehokkaimmillaan silloin, kun karbonatisoituminen on edennyt raudoitteen tasolle, mutta paikattavia korroosioaurioita ei vielä ole syntynyt merkittävästi. [4 s. 58.]

Toimenpiteen käyttäminen edellyttää erikoissuunnittelua erikoisurakoitsijan käyttöä ja huolellista laadunvarmistusta. Käyttö julkisivusaneerauksissa onkin tämän vuosi harvinaista. [4 s. 58.]

Uudelleen alkalointi sementtipohjaisilla pinnoitteilla (passiivinen uudelleenalkalointi):

Uudelleenalkalointi voidaan toteuttaa myös käsittelemällä karbonatisoitunut betonipinta sementtipohjaisella tuotteella. Uusi alkalinen pintakerros voi pysäyttää karbonatisoitumisen ja alkalisesta pinnoitteesta sekä karbonatisoitumattomasta taustabetonista voi kulkeutua alkalisuutta karbonatisoituneeseen betoniin. Käytännössä uudelleenalkalointi voidaan toteuttaa tavanomaisella korkealaatuisella betonilla joko valamalla tai ruiskubetonoimalla vanhat rakenteet. Uudelleen alkaloinnissa käytettävät kerrospaksuudet ovat tyypillisesti 15 – 30 mm, joten painonlisäys on otettava suunnittelussa huomioon. [4 s. 59.]

Edellä mainittuja uudelleenalkalointimenetelmiä on käytetty Suomessa lähinnä silta-rakenteissa, ei niinkään rakennuksissa mm. elementtien epäjatkuvuuskohtien vuoksi. [4 s. 59.]

4.6.4 Katodinen suojaus

Katodisessa suojauksessa karbonatisoituminen pysäytetään johtamalla niihin heikkoa sähkövirtaa. Sähkövirta johdetaan rakenteeseen erityisesti asennetun anodijärjestelmän kautta. Se soveltuu lähinnä kloridikorroosiosta kärsiviin betonirakenteisiin, joita ei voida tai ei kannata korvata uusilla rakenteilla. Suojauksen rakennuskustannukset ko- hoavat korkeiksi suhteessa käytettyyn sähkövirtaan, siten järjestelmää käytetään lähinnä siltojen korjauksissa. [4 s. 59.]

4.7 Betoni korjausten käyttöikä

Korjauksella saavutettavalla käyttöiällä on kustannusten ohella keskeinen vaikutus korjaustavan valintaan. Käyttöikä vaikuttaa suoraan korjauksen taloudellisuuteen. On erittäin tärkeä huomata että valitun korjaustavan käyttöikä voi olla hyvin lyhyt suhteessa käytettyihin kustannuksiin. Korjaustavan ja korjaustoimen laajuus tulee valita siten, että olemassa olevien vauriomekanismien eteneminen pysähtyy tai ainakin hidastuu merkittävästi. Liian kevyillä ja vain näkyvissä oleviin vaurioihin kohdistetulla korjauksilla käyttöikä jää usein lyhyeksi. Korjaussuunnitelmissa erityishuomiota tulee kiinnittää materiaalivalintoihin, laadunvarmistuksen ohjeistamiseen ja erilaisten liitos- ja detaljikohtien suunnitteluun. Työnaikaista laadunvarmistusta voidaan pitää korjauksen kestävyuden yhtenä perusedellytyksenä. [4 s. 60.]

merkintöjen selitykset	Alustan ominaisuuksien vaikutus korjaustavan soveliaisuuteen	Alustan ominaisuuksien vaikutus korjatun rakenteen käyttöikään	Riskialtius (käytön epävarmuus)	Tyypillinen käyttöikäarvio	Huollon ja seurannan tarve	Vaikutus ulkonäköön	Suunnittelutyön määrä	Laadunvarmistuksen tarve	Erikoisurakoinnin tarve
0 ei/ei vaikutusta x vähäinen xx kohtalainen xxx suuri									
Ei korjaustoimenpiteitä	xxx	xxx	xxx	?	xxx	o	x	o	o
Kevyt pinnoituskorjaus	xx	xxx	xxx	5 - 10	xx	x	x	x	o
Laastipaikkaus- ja pinnoituskorjaus	xxx	xxx	xx	10 - 20	x	x	xxx	xxx	xx
Inhibiittorit	xx	xxx	xxx	?	x	x	xx	xxx	o
Päälle tehtävä pintarakenne									
kevyet levyverhoukset	x	x	x	15 - 50	x	xxx	xx	x	o
eristerappaus	xx	x	x	15 - 50	xx	xxx	xx	xx	xx
kuorimuuraus	o	x	x	> 50	x	xxx	xx	xx	o
täysikokoiset kuorielementit	o	x	x	> 50	x	x	xxx	xx	x
Rakenteen korvaaminen uudella	x	o	x	> 50	?	o	xxx	xx	o

Kuva 27. Erikorjaustavoille tyypillisiä ominaisuuksia ja vaikutuksia [4 s. 61, taulukko 4.1.]

Kevyillä pinnoituskorjauksilla voidaan saavuttaa uudiskäsittelyn käyttöikä 10 – 25 vuotta, mikäli työ suoritetaan huolella ja rakenteen kunto on vielä hyvä. Suurimmassa osassa kevytkunnostus tehdään liian myöhään ja korroosio ja rapautumisvauriot ovat laajentuneet ja todelliseksi käyttöiäksi jää 5 - 10 vuotta. Yleisesti voidaan todeta, ettei

kevyellä pinnoituskorjauksella voidaan vaikuttaa merkittävästi rakenteen jäljellä olevaan käyttöikään. [4 s. 60.]

Perusteellisen laastikorjauksen käyttöikä pidetään 10 – 20 vuotta. Tämä koskee kuitenkin vain korjattuja kohtia. Korjatun rakenteen käyttöikä riippuu erityisesti siitä, miten korrosio ja rapautumisvauriot pystytään pysäyttämään. Tähän voidaan vaikuttaa etsimällä huolellisesti korjattavat kohdat sekä alentamalla korjausten yhteydessä rakenteen kosteustaso. [4 s. 60.]

Peittävien korjausten tekeminen on suurelta osin lähellä uudisrakentamista. Tästä syystä verhouksen käyttöikä voidaankin suunnitella halutun pituiseksi, koska rakenteen kestävyys ei riipu juurikaan vanhan alustan ominaisuuksista. Valitun korjaustavan ratkaisusta käyttöiän voidaan arvioida olevan 15 vuodesta useisiin kymmeneen vuosiin. [4 s. 61, 62.]

5 Kuntotutkimuksien tulosten luotettavuuden määrittelyminen

Kuntotutkimuksen johtopäätöksiä pohjaksi kerätään rakenteista, rasitusoloista ja ei vauriotapojen tilasta erilaisia tietoja. Oleellista tulosten luotettavuuden kannalta on, että ne tiedot, joiden pohjalta tehdään päätöksiä tulevista korjauksista, on hankittu riittävän tarkasti ja riittävällä laajuudella. [4 s. 89.]

Osa havainnoitavista suureista on sellaisia, että niitä voidaan käyttää tuloksia analysoitaessa suoraan, kuten betonin kloridipitoisuus tai karbonatisoitumissyvyys. Betonin pakkasrapautumista on syytä tutkia vasararoimalla tai vetolujuutta mittaamalla. Tällöin on pyrittävä arvioimaan myös sitä, miten hyvin mittaus tapa kuvaa tutkittavan vaurion tilaa. [4 s. 89.]

Otantatutkimuksella johon kuntotutkimus suurelta osin sijoittuu, tarkoitetaan rakenteiden tutkimista pienen osajoukon otannan antamiin tietoihin. Otannalla saatuihin tietoihin liittyy aina epävarmuutta, jota voidaan kuitenkin vähentää käyttämällä mahdollisimman hyviä ja tarkkoja havainnointitapoja, mahdollisimman satunnaista ja edustavaa mittauskohtien valintaa ja riittävän suurien otoskokoja. [4 s. 89.]

Miten suurta otoskokoa tietyn suuren mittauksissa kannattaa käyttää, on riippuvainen mikä on kyseisen suureen tarkkuuden merkitys johtopäätöksiä tehtäessä. [4 s. 89.] Kuntotutkimus on onnistunut ja luotettava silloin, kun sen johtopäätökset, varsinkin arvioitu korjaustarve ja ehdotettu korjaustapa ovat vauriutilanteeseen nähden oikeita ja taloudellisia. [4 s. 89.] Korjaustarvetta koskevia päätelmiä tehtäessä eivät kaikki kerätyt tiedot ole yhtä tärkeitä, vaan päätös voi pohjautua esimerkiksi vain yhtä vauriotapaa koskeviin tietoihin. Tutkimuksen tuloksia analysoitaessa ja johtopäätöksiä tehtäessä tulisikin aina arvioida juuri avaintietojen edustavuutta ja luotettavuutta. [4 s. 90, 91.]

Osa havainnoitavista suureista on sellaisia, että jo pienellä otoksella saadaan luotettavan tulos, kuten esimerkiksi sideansaa materiaalin toteaminen tai onko betonissa käytetty klorideja.

Suureita, jotka täytyy mitata suurena otoksena, ovat esimerkiksi karbonatisoitumissyvydet ja raudoitteiden peitepaksuudet. Näistä tarvitaan riittävät jakaumat, jotta pystytään arvioimaan raudoitteiden korroosioon laajuus luotettavasti.

Tutkittavat rakenteet tulee jakaa riittävän pieniin ryhmiin:

- julkisivurakenteiden erikseen tutkittavat ryhmät:
 - pesubetonielementit
 - maalipintaiset elementit
 - tiililaattapintaiset elementit
 - klinkkerilattaelementit
 - sokkelielementit
- parvekerakenteiden erikseen tutkittavat ryhmät:
 - pielirakenteet, sisäpuoli ja ulkopuoli erikseen sekä tarvittaessa ot-sapinta
 - parvekelaatat, yläpinta ja alapinta erikseen
 - kaidarakenteet, sisäpinta ja ulkopinta
- rakenteelliset liitoskohdat
- säärasituksen vaikutukset.

Otantaa ei aina pystytä ajan tai kustannusten säästämiseksi ulottaa kokoperusjoukkoon. Tällöin on huolehdittava siitä, että tutkittava rajattu kokonaisuus, esimerkiksi tiettyyn ilman suuntaan oleva julkisivu vastaa tutkittavien suureiden suhteen koko perusjoukkoa eli kaikkia julkisivuja. Näytteitä ei saa kohdentaa vain yhteen kerrokseen vaan ne tulee ottaa tasaisesti kaikista kerroksista. [4 s. 92.]

Kuntotutkimuksen sisältöä suunnitellessa siis harkitaan, mitkä ovat niitä rakenteita, rasitusoloja ja eri varioiden tiloja kuvaavia suureita, joiden perusteella saadaan riittävästi tietoa tekemään luetettava kuntotutkimusraportti

5.1 Rapautumistilanteen tutkiminen

Rakenteen pakkasenkestävyyttä ja rapautumistilaa tutkitaan useilla eri menetelmillä, jotka havainnoivat ja mittaavat erilaisia betonin ominaisuuksia. Ne ovatkin luotettavuudeltaan ja tarkkuudeltaan hyvin erilaisia. Tarkimmat laboraatio menetelmät ovat kalliita joten on edullisinta käyttää rinnakkain useita menetelmiä, kuitenkin niin että kokonaistilanne saadaan arvioitua luotettavasti. Betonin lujuustietoa ja arvioitua pakkasrasitus-tasoa voidaan käyttää apuna arvioimaan rapautumisalttiutta. [4 s. 92.]

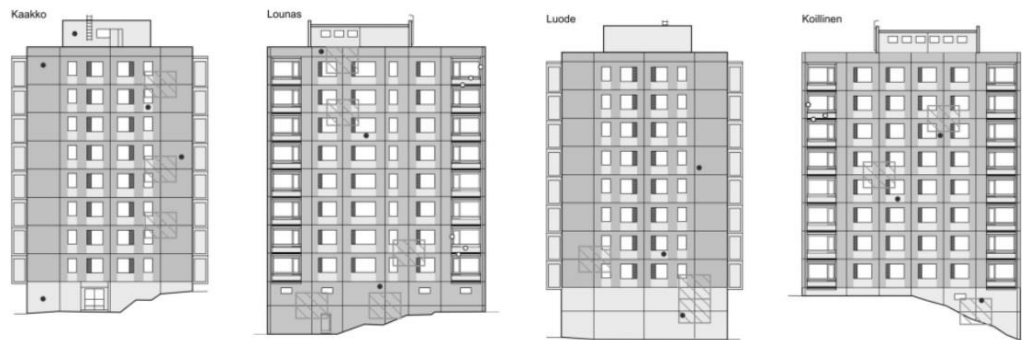
Pakkasenkestävyyden eli toimivan lisäsuokostamisen toteaminen edellyttää laboraatio tutkimuksia. Näytteitä on otettava kaikista rakennetyypeistä, joissa betonin laatu voi olla erilainen. Tarvittava näytemäärä riippuu rakenneryhmän koosta, kuitenkin luotettavaksi tuloksen saamiseksi, voidaan yhdestä ryhmästä minimimäärän olevan kolme näytettä. Tällöin ei kenttätutkimuksissa saa olla viitteitä rapautumisesta. On silti huomioitava että pakkasenkestävyydessä on todennäköisesti vaihtelua, eikä täydellistä varmuutta koko rakenneryhmän kestävydestä ole. [4 s. 92.]

Alkava ja pitkälle edennyt rapautuminen voidaan todeta samoilla argumenteilla kuin pakkaskestävyys. Usein on lisäksi määriteltävä rapautumisen rajat. Kuntotutkimusvaiheessa riittää alkavalle ja pitkälle edenneelle rapautumiselle karkeiden rajojen määrittäminen. Pitkälle edennyt rapautuminen on havainnollistettavissa vasaroimalla, jolla voidaan määritellä suhteellisen tarkasti rapautumisen rajat. [4 s. 93.]

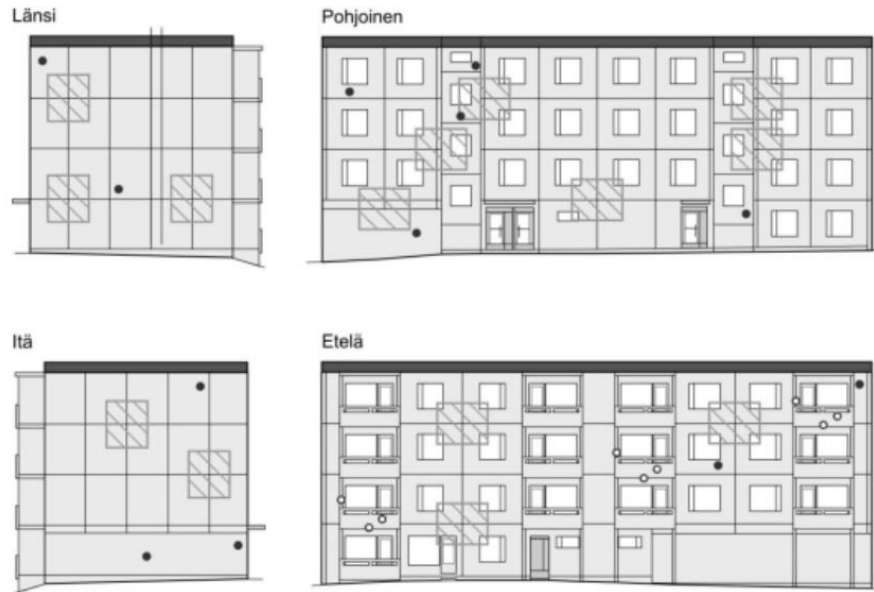
5.1.1 Raudoitteen korroosion ja karbonatisoitumisen tutkiminen

Raudoitteen korroosiotilaa tutkittaessa keskeisiä kysymyksiä ovat käynnissä olevan korroosion laajuuden ja asteen selvittäminen, korroosio etenemisen arviointi ja korroosion vaikutukset rakenteiden turvallisuuteen. Korroosion etenemisen ja vaikutusten arvioinnissa tarvitaan pohjaksi tieto sen laajuudesta ja asteesta sekä lisäksi rakennetiedot ja arvio rakenteiden eri osien kosteusolosuhteista. [4 s. 94.]

Korroosioin laajuuden ja asteen selvittämiseksi tarvitaan silmämääräisen havainnoinnin lisäksi betonipeitemittauksien vertailua laboraatiosta saatuihin karbonatisoitumis syvyyksiin. Tulosten tarkkuus riippuu otosten suuruudesta ja edustavuudesta. Otoksiin tulevat mittaukset tulee suorittaa annettujen ohjeistuksien mukaisesti. [4 s. 94.]

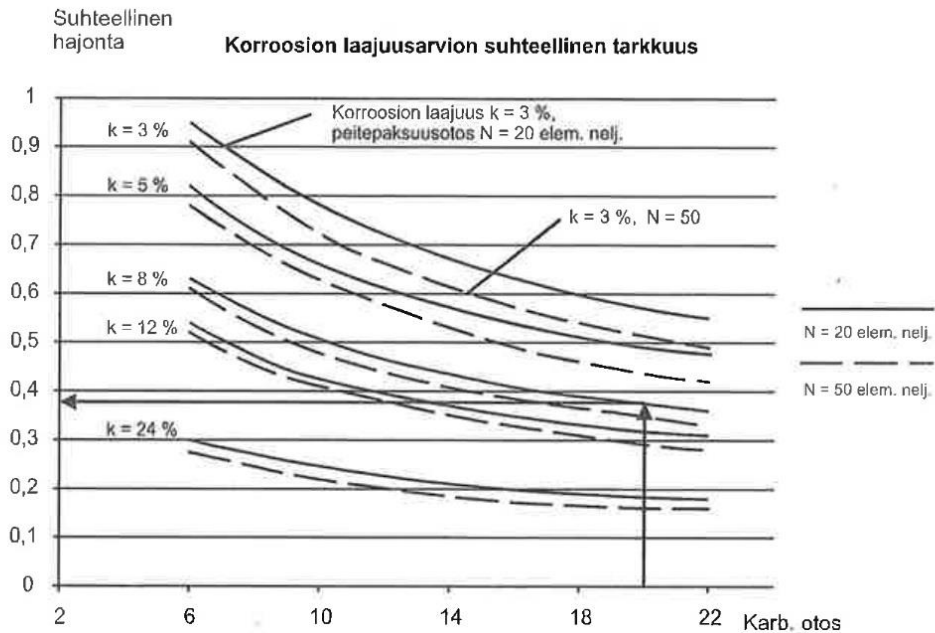


Kuva 28. Raudoituksen peitepaksuuksien mittaamisen ohje pistetalossa [5 lomake 3.]



Kuva 29. Raudoituksen peitepaksuuksien mittaamisen ohje lamellitalossa [5 lomake 3.]

Karbonatisoitumisesta ja peitepaksuuskerroksista lasketun korroosion laajuusarvon tarkkuuteen vaikuttavat merkittävimmin otosten koko ja edustavuus, tutkittavan kohteen korroosion laajuus ja kohteen koko. Karbonatisoitumisotosten kasvattaminen parantaa tulosten tarkkuutta selkeästi ja säännönmukaisella tavalla. Myös peitepaksuusotosten kasvattaminen parantaa tarkkuutta. Hyvään tarkkuuteen pyrittäessä on molemmista tehtävä suuret otokset. Alla olevasta taulukosta nähdään, että riittävän luotettava tulos saadaan mittaamalla peitepaksuudet noin 20 elementin neljänneksestä ja vertailemalla niitä 20 kpl saatuihin karbonatisoitumis syvyyksiin. [5 s.15.]



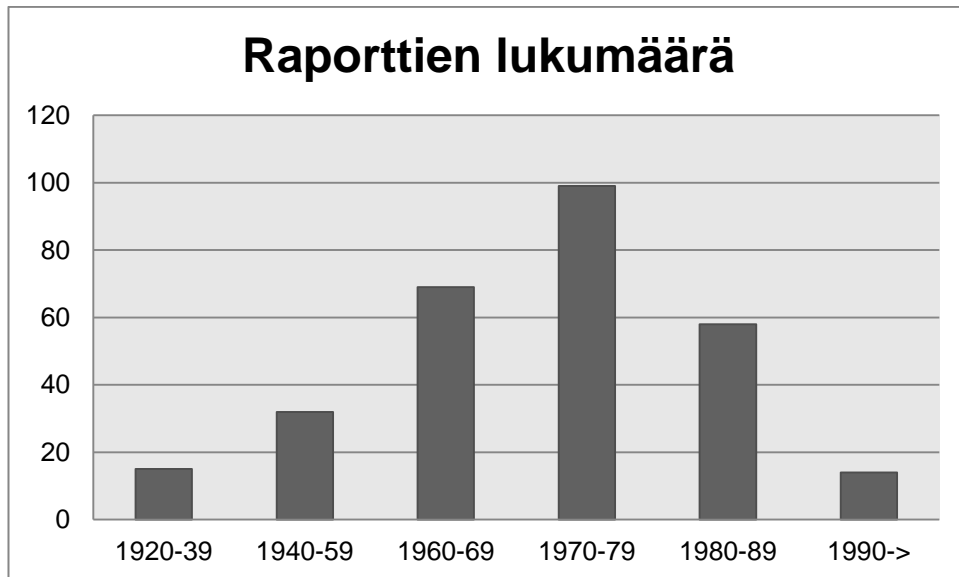
Kuva 30. Korroosion laajuuden tarkkuus otantatutkimuksessa (BY 42 s 95 kuva 5.5)

Yksinkertaistaen käyrästä voidaan luotettavuusväliksi tulkita 20 kpl otoksella olevan yli 90 % luokkaa. Pienillä otoksilla alle kymmenen kappaleen mittauksilla luotettavuus kärsii huomattavasti ja onkin melko todennäköistä, että uudelleen otetut tulokset osuvat melko kauas toisistaan. [4 s. 95.]

6 Kuntotutkimuksista koottu tutkimusaineisto

Tutkimusta varten koottu tietokanta koostuu betonijulkisivuista sekä betoniparvekkeista Suomen Talokeskuksessa tehdyistä kuntotutkimusraporteista. Kuntotutkimusraportit ovat koottu vuosien 2009 jälkeen tehdyistä raporteista. Kuntotutkimusraporttien pääpaino asettuu 1960 - ja 1970 - luvuille, josta raporteja on 161. Yhteensä tietoa kerättiin 287 eri raportista. Kuntotutkimusraporteissa on tutkittu yhteensä noin 800 rakennusta.

Tutkitut rakennukset sijaitsevat pääsääntöisesti pääkaupunkiseudulla eli niin sanotulla rannikko vyöhykkeellä, jolla vaurioituminen on nopeampaa kuin sisämaassa. Kuntotutkimusraportteja on kerätty lisäksi sisämaasta yksittäisiä kohteita seuraavista kaupungeista Kouvolasta, Lahdesta, Hyvinkäältä, Raumalta, Tampereelta sekä Orivedeltä.



Jokainen tutkittu raportti on käyty läpi Talokeskuksen tulevaa käyttöä varten räätälöidyllä Exceliä käyttävällä laskentaohjelmalla, joka laskee kuntotutkimuksessa tutkijan tarvittavat tiedot. Laskennan jälkeen tiedot ovat syötetty yksitellen manuaalisesti tiedonkeräyslomakkeille, josta on kerätty yhteenvetoa tarvittavat tiedot.

Raportin esittelyä voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä kuntotutkimuksen kriteereistä. Hyvin ja riittäväällä tarkkuudella tehty kuntotutkimusraportti voidaan mitätöidä, jollei tilaaja ymmärrä mitkä ovat seuraavat toimenpiteet, jotta saadaan kunnostuksesta onnistunut. Tutkimuksen esittely ja sen kertominen ymmärrettävästi tilaajalle sekä mahdollisille osakkaille on rakennuksen elinkaaren jatkamisen kannalta erittäin tärkeää. Taloyhtiöissä ei pelkästään hallitukselle raportin esittely riitä vaan se täytyy esitellä erillisessä info-tilaisuudessa, johon kaikilla asianomaisilla on mahdollisuus tulla keskustelemaan. Poikkeuksen tekevät rakennukset, jotka eivät tutkimuksen perusteella tarvitse kunnostus toimenpiteitä, näitä on tehdyn tutkimuksen mukaan vain muutama prosentti tietokannan taloista.

7.1 Esittelyn sisältö

Kuntotutkimuksen esittelijä tulee olla kuntotutkimuksen tekijä tai tarkastaja, jotka ovat perehtyneet tutkittuun rakennukseen ja sen betonirakenteiden kuntoon.

Kuntotutkimuksen tarkoituksen selvittäminen seuraavat:

- tärkeintä on selvittää tilaajalle, onko rakenteet vielä kunnostettavissa vai joudutaanko niitä asettamaan käyttökieltoon tai tulee mahdollisesti niiden purku kyseeseen
- kartoitetaan tehtävät kunnostustyöt ja rajataan niiden laajuus
- annetaan tilaajalle ehdotuksia kunnostus vaihtoehdoista, yleensä niitä annetaan vähintään kaksi.

Kuntotutkimuksen sisällön selvitys:

- silmämääräisessä tarkastelussa korostuu kuntotutkijan kokemus sekä vertaileminen vastaaviin rakenteisiin
- betonipeitteiden mittaustapa ja miksi halutaan tietää betonin sisällä olevien terästen syvyydet.
- otettujen näytteiden lukumäärät, selvittävät tehtävät tutkimukset pääpiirteittäin, varottava liian tieteellistä selvittämistä:
 - ohuthie analyysit, selvitetään mitä tutkitaan ja miksi tutkitaan
 - vetokokeet ja miksi niitä otetaan

- asbesti ja raskasmetalli määrittämisen tarpeellisuus
- sauma-aineiden tutkiminen miksi pitää tehdä.

Käydään tutkimukseen liittyvät rakenteet läpi. Liittyviä rakenteita ovat yleensä vesikate, ikkunat, sadevesijärjestelmä sekä mahdolliset sisääntulokatokset.

Tutkitut rakenteet ja niistä kerätyt havainnot:

- rakenteiden tyypit
- niiden rakenneratkaisut
- käytetyt pinnoitteet, materiaalit

Laboratorion tutkimus tulokset:

- betonin pakkasenkestävyys, miksi on tai miksi ei ole ja mitä se tarkoittaa
- vetokokeiden tulokset, niiden rajojen läpi käynti ja vertailu muihin vastaaviin rakennusosiin
- karbonatisoitumisen etenemisen merkitys
- haitta-aineiden merkityksen selvittäminen.

Korjausehdotukset:

- annetaan vähintään kaksi kunnostus vaihtoehtoa suositeltu sekä sille vertaileva vaihtoehto:
 - kunnostusten sisällöt kerrotaan pääpiirteittäin
 - annetaan ehdotetuille kunnostuksille kustannusarviot. Kustannus arviossa tulee painottaa, että se koskee vain kuntotutkimuksen kohteena olevia rakenteita
 - mitä vaikutuksia ehdotetut kunnostukset tuovat tilaajalle
 - selvitetään kunnostustapojen aikataulu
- selvitetään mahdollisesti tulevan hankkeen seuraavat vaiheet.

Parhaanmahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi, esittely on suoritettava vielä kolmannen kerran päättävässä yhtiökokouksessa, jolloin aiemmin esitellystä tutkimuksesta on saattanut herätä lisä kysymyksiä.

8 Yhteenveto

8.1 Tutkimustulosten tarkastelu

Tutkimustuloksena tehtiin jokaiselle uudet raportointipohjat, joita on tulevaisuudessa tarkoitus hyödyntää RATI (Tampuuri R) hankkeessa.

Tehdyistä kuntotutkimuksista kerättiin poikkeuksellisen laaja yhteenveto, joka on todennäköisesti yksi suurimmista alan tutkimuksista Suomessa. Alla olevista yhteenveto taulukoista ilmenee eri rakenneosille karbonatisoitumiskerroin, karbonatisoitumissyvyys, teräksien suojabetonikerros ja kuinka paljon teräksistä on karbonatisoitumisalueella sekä vetolujuuden keskiarvo. Tietokannasta voidaan tarkastella erirakennusosien suojuhuokostuksia, näytemäärien lukumääriä rakennusosittain, rapautumaa ja onko se alkavaa vai pitkälle edennyttä.

8.1.1 Vuosien 1920 – 1939 betonirakenteet

Taulukossa esitetyt betonirakenteet ovat ulokeparvekkeita. Tuloksissa on keskitytty ainoastaan kantavaan betonilaattaan, vesieristeen yläpuolella oleva pintalaatta valetaan uudelleen käytännössä aina.

Parvekelaatta			
	Alapuoli	Kantavanlaatan yläpinta	
Karbonatisoitumis kerroin	1,82	0,61	
Karbonatisoitumis syvyys	16,83	6,13	mm
Teräksien suojabetoni kerros	27,45	6,13	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	27,45	27,78	%
Vetolujuus	0,73		N/mm ²

Tutkittujen rakennuksien korjaushistoriasta ei voida varmuudella todeta, ovatko tutkitut laatat alkuperäisiä vai ovatko ne jossakin vaiheessa valettu uudelleen.

8.1.2 Vuosien 1940 – 1959 betonirakenteet

Tutkitut betonirakenteet keskittyvät ulokeparvekkeisiin, joissa on aikakaudelle tyypillisesti teräskaitteet. Muutamassa tutkitussa parvekkeessa oli betonikaiteet, joiden tulokset ovat esitetty taulukossa, vähäisestä lukumäärästä johtuen betonikaiteiden tulokset eivät ole luotettavia.

Parvekelaatta			
	Alapuoli	Yläpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,79	0,91	
Karbonatisoitumis syvyys	21,05	6,83	mm
Teräksien suojabetoni kerros	22,60	37,52	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	43,33	0,00	%
Vetolujuus	1,33		N/mm ²
Parvekekaide, n = 4 kpl ei luotettava			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	1,83	1,59	
Karbonatisoitumis syvyys	13,76	12,07	mm
Teräksien suojabetoni kerros	17,33	18,54	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	34,38	26,58	%
Vetolujuus	2,88		N/mm ²

8.1.3 1960-luvun betonirakenteet

Julkisivu			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,28	1,37	
Karbonatisoitumis syvyys	15,21	9,17	mm
Teräksien suojabetoni kerros	28,31	22,70	mm

Teräksiä karbonatsoitumisalueella	15,99	12,72	%
Vetolujuus	2,03		N/mm ²
Parvekelaatta			
	Alapuoli	Yläpuoli	
Karbonatsoitumis kerroin	2,67	0,94	
Karbonatsoitumis syvyys	18,50	6,51	mm
Teräksien suojabetoni kerros	23,35	32,22	mm
Teräksiä karbonatsoitumisalueella	30,81	2,08	%
Vetolujuus	1,41		N/mm ²
Parvekekaide			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatsoitumis kerroin	1,91	1,78	
Karbonatsoitumis syvyys	13,09	12,20	mm
Teräksien suojabetoni kerros	26,07	26,23	mm
Teräksiä karbonatsoitumisalueella	15,66	9,86	%
Vetolujuus	2,10		N/mm ²
Parvekepieli			
	Alapuoli	Yläpuoli	
Karbonatsoitumis kerroin	3,09	3,13	
Karbonatsoitumis syvyys	21,15	21,40	mm
Teräksien suojabetoni kerros	28,94	29,16	mm
Teräksiä karbonatsoitumisalueella	29,54	28,65	%
Vetolujuus	1,72		N/mm ²

8.1.4 1970 luvun betonirakenteet

Julkisivu

	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	1,84	0,93	
Karbonatisoitumis syvyys	11,20	5,62	mm
Teräksien suojabetoni kerros	27,65	25,53	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	8,12	4,12	%
Vetolujuus	2,08		N/mm ²
Parvekelaatta			
	Alapuoli	Yläpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,43	0,93	
Karbonatisoitumis syvyys	14,89	5,63	mm
Teräksien suojabetoni kerros	26,09	30,94	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	17,35	1,33	%
Vetolujuus	1,67		N/mm ²
Parvekekaide			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,11	2,06	
Karbonatisoitumis syvyys	13,10	12,71	mm
Teräksien suojabetoni kerros	28,56	23,64	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	9,88	17,84	%
Vetolujuus	1,91		N/mm ²
Parvekepieli			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,32	2,54	
Karbonatisoitumis syvyys	14,20	15,06	mm
Teräksien suojabetoni kerros	27,17	26,91	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	13,79	16,12	%

Vetolujuus	1,80	N/mm ²
------------	------	-------------------

8.1.5 1980 luvun betonirakenteet

Julkisivu			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	1,84	1,21	
Karbonatisoitumis syvyys	9,88	6,42	mm
Teräksien suojabetoni kerros	28,83	25,98	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	2,55	1,97	%
Vetolujuus	1,90		N/mm ²
Parvekelaatta			
	Alapuoli	Yläpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	3,44	1,21	
Karbonatisoitumis syvyys	17,66	6,18	mm
Teräksien suojabetoni kerros	26,17	30,06	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	21,40	1,64	%
Vetolujuus	1,89		N/mm ²
Parvekekaide			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	
Karbonatisoitumis kerroin	2,26	1,62	
Karbonatisoitumis syvyys	12,07	8,59	mm
Teräksien suojabetoni kerros	28,03	30,51	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	5,07	3,40	%
Vetolujuus	2,12		N/mm ²
Parvekepieli			
	Ulkopuoli	Sisäpuoli	

Karbonatisoitumis kerroin	2,54	2,83	
Karbonatisoitumis syvyys	13,21	14,87	mm
Teräksien suojabetoni kerros	29,95	31,04	mm
Teräksiä karbonatisoitumisalueella	7,98	12,86	%
Vetolujuus	2,02		N/mm ²

8.1.6 1990-luvun talojen betonirakenteet

Vuosikymmenen betonirakenteita on tutkittu niin vähän, että luotettavaa tulostietoa ei ole vielä saatavana.

8.1.7 Eri vuosikymmenien rakenteiden keskinäistä vertailua

Karbonatisoitumiskerroin vaihtelee suuresti rakenneosasta riippuen. Alla olevassa taulukossa on esitetty tutkimuksista saatujen keskiarvojen avulla, miten kerroin vaihtelee rakenneosittain. Taulukosta voidaan tarkastella miten kerroin käyttäytyy vuosikymmenien mukaan.

Karbonatisoitumiskerroin								
	Julkisivu		Parvekelaatta		Kaide		Pielet	
	Ulkopinta	Sisäpinta	Alapinta	Yläpinta	Ulkopinta	Sisäpinta	Ulkopinta	Sisäpinta
1940-1959	-	-	2,79	0,91	1,83	1,59	2,15	3,48
1960-1969	2,24	1,37	2,72	0,88	1,78	1,89	2,93	3,12
1970-1979	1,80	0,95	2,54	0,93	1,97	1,94	2,31	2,57
1980-1989	1,84	1,17	3,41	1,20	2,23	1,66	2,57	2,95
1990->	1,07	0,49	-	-	-	-	-	-

Karbonatisoituneella alueella olevien teräksien lukumäärät on esitetty alla olevassa taulukossa.

Teräksiä karbonatsoituneella alueella (%)								
	Julkisivu		Parvekelaatta		Kaide		Pielet	
	Ulkopinta	Sisäpinta	Alapinta	Yläpinta	Ulkopinta	Sisäpinta	Ulkopinta	Sisäpinta
1940-1959	-	-	40,33	0,00	30,04	26,58	9,65	20,92
1960-1969	15,81	13,11	30,67	1,86	14,26	11,61	27,00	28,90
1970-1979	7,26	4,58	17,60	1,03	8,75	14,71	12,74	15,96
1980-1989	2,37	1,82	20,69	1,45	4,61	3,54	7,54	14,19
1990->	-	-	-	-	-	-	-	-

Rakennusosien vetolujuuksia vertaillessa huomataan betonin lujuuden kasvun vaikutus tuloksiin.

Rakennusosien vetolujuudet (N/mm ²)								
	Julkisivu		Parvekelaatta		Kaide		Pieli	
	Ulkopinta	Sisäpinta	Alapinta	Yläpinta	Ulkopinta	Sisäpinta	Ulkopinta	Sisäpinta
1940-1959	-	-	1,32	-	-	-	-	-
1960-1969	2,04	-	1,43	-	2,07	-	1,68	-
1970-1979	2,06	-	1,73	-	1,98	-	1,88	-
1980-1989	1,94	-	1,94	-	2,10	-	2,05	-
1990->	2,46	-	-	-	-	-	-	-

8.2 Johtopäätökset ja opinnäytetyön merkitys

Työn tarkoitus oli tehdä tulevaa tiedonhallintaa (Tampuuri R) varten kuntotutkimusraportit. Tavoite oli tehdä erilaisille rakennusosille omat raporttipohjat sekä soveltaa ne toimiviksi erivuosisikymmenien rakennuksille. Työn edetessä kehitettiin myös kuntotutkimuksen sisäiseen käyttöön Excel laskenta tiedosto, joka vastaa raportointi tarvetta.

Opinnäytetyön yhteydessä tutkittiin eri rakenneosille karbonatsoitumissyvyyyksiä, suojaetonpaksuuksia ja betonin lujuuksia. Tutkimusta laajennettiin omien (tehty yli 100 rakennukseen) tehtyjen kuntotutkimuksien lisäksi Suomen Talokeskuksen aiemmin tehtyihin kuntotutkimuksiin, jotta työntuloksista saadaan mahdollisimman luotettavat ja tarkat havainnot. Lähes kaikille tutkitulle vuosikymmenelle saatiin otosmäärä kasvatettua lähes viiteenkymmeneen, poikkeuksen tekee ennen vuotta 1940 sekä vuoden 1990 jälkeen rakennetut asuinkerrostalot, joiden osalta otosmäärät jäivät alle kahteenkymmeneen.

Saatujen tuloksien perusteella voidaan tutkittujen rakennuksien betonirakenteiden keskiarvoja verrata uusiin tehtäviin raporteihin ja määrittellä näin keskiarvot erivuosisikym-

menien rakenteille. Tulokset esimerkiksi karbonatisoitumiskertoimen osalta noudattaa pääsääntöisesti BY 42 annettua rajaa, joka on 1,5 – 3,5 välillä. Tutkimuksessa haluttiin kuitenkin tarkentaa miten kerroin käyttäytyy eri rakenneosien suhteen sekä eri vuosikymmeniin ajoittuviin rakennuksiin. Betonirakenteiden tutkitut vetolujuudet erivuosi- kymmenille ei vastaa kaikilta osin aivan standarteissa määriteltyä betonin lujuuden kasvua, kuitenkin selvää kasvua tuloksissa on havaittavissa mitä uusimpiin rakenteisiin tullaan.

Tehtävän laajetessa omakohtaisien kuntotutkimuksien tekemiseen riittävän laajasti osoittautui aikaa vieväksi hankkeeksi, tänä aikana ilmestyi julkisivun betonirakenteiden kuntotutkimuksen tilaajan ohje. Tilaajanohje on erittäin hyvä työkalu määrittelemään näytenpörouksien minimi lukumäärää. Ohjetta tulisi lisäksi päivittää siten, että jokaisesta tutkittavasta rakenneosasta tulisi ottaa 3 ohuthie näytettä ja vähintään 3 vetokoetta sekä kaikista tilaajaan ohjeessa määritetyille näytteille olisi tehtävä betonin karbonatisoitumisen määrittäminen. Valitettavasti tällä hetkellä edellä mainittuja järkeviä vähimmäismääriä alitetaan selvästi betonirakenteiden kuntotutkimuksien yhteydessä. Lukumääräen alittamisella joudutaan väistämättä tilanteisiin, jolloin kuntotutkimuksen tarkkuus kärsii ja luotettavuuden taso laskee huomattavasti. Rakennuksien julkisivun betonirakenteiden kuntotutkimuksessa onkin pyrittävä saamaan rakenteiden kunnosta mahdollisimman luotettava kuva, joka on suhteessa tehtyjen tutkimuksien laajuuteen.

Tutkimuksessa saadut tulokset tullaan jakamaan Suomen Talokeskuksen kuntotutkijoiden käyttöön, heti tehtyä tutkimuksen pystytään sanomaan onko rakennuksen julkisivu suhteessa samanikäisiin heikkokuntoinen, normaalikuntoinen tai hyväkuntoinen. Tämä kuntoluokkiin jakaminen auttaa kuntotutkimuksen tekijää tarvittavien korjaus suunnitelmien sekä varsinaisen raportin laatimisessa.

Vertailua voidaan tulevaisuudessa kehittää alueellisesti, vertailemalla vain saman alueen rakennuksia toisiinsa. Tällä saadaan näkyviin suhteelliset erot sisämaan ja rannikon välillä tai mahdollisesti jakamalla tutkimukset lääneittäin. Vertailua ei voida vielä viedä riittävällä tarkkuudella lääneittäisiksi, sillä luotettava otosmäärä pitää olla noin 100 kpl / vertailtava alue.

Työlle asetetut tavoitteet täyttyivät mielestäni hyvin, ainoastaan alueellinen tieto rakennuksien kunnosta olisi ollut mielenkiintoista tietoa sekä itselleni sekä Suomen Talokeskukselle. Tulevat tehtävät kuntotutkimukset tullaan syöttämään luotuun taulukkoon,

jolloin alueelliset otokset tulevat luotettavaksi ja niitä voidaan hyödyntää. Kuntotutkimusraporttien päivittäminen tulisikin olla nimetyn henkilön vastuulla, jotta kaikilla käytössä oleva pohja olisi aina viimeinen ajan tasalla oleva versio.

Seuraava askel olisi kehittää sovellus raportointiin, jossa olisi valmiiksi useita vaihtoehtoja raporttipohjan mukaisesti. Raportin tekeminen sovelluksessa voisi tapahtua esim. kohta kohdalta rastiruutuun klikkaamalla haluttu vaihtoehto. Lopuksi olisi hyvä päästä tekemään tekstiin vapaata muotoilua, jotta pieniä tarkennuksia voitaisiin tehdä kohdetapauksesta riippuen. Yksittäisellä raporttipohjalla pystytään kuitenkin palvelemaan suurta osaa projekteista, mutta se ei välttämättä ole tehokkain ja eikä etenkään nykyaikaisin menetelmä. Sovellusta käyttämällä virheelliset ja vanhentuneet asiat eivät myöskään pääse kierto, jos sovelluksessa käytettävä asiasisältö pidetään ajan tasalla.

Lähteet

- 1 Neuvonen, Petri. 2006 Tampere: Kerrostalot 1880 – 2000. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustekniikan keskus –säätiö ja Museovirasto.
- 2 Mäkiö, Erkki. 1990 Helsinki: Kerrostalot 1940 – 1960 Rakennustietosäätiö Rakennuskirja Oy. .
- 3 Mäkiö, Erkki. 1994 Helsinki: Kerrostalot 1960 – 1975 Rakennustietosäätiö Rakennustieto Oy.
- 4 Suomenbetoniyhdistys r.y. 2013. BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013, Gummerus Kirjapaino Oy.
- 5 Suomenbetoniyhdistys r.y. 2014. Tilajan ohje 2014 Betonijulkisivun ja Parvekkeiden Kuntotutkimus.
- 6 Varjonen Seija. 2006. Conservation and Maintenance of Concrete Facades. Saatavissa www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimusraportit/Tutkimusraportti_136.pdf. Luettu 15.12.2013.
- 7 Lahdensivu, Jukka. Julkisivukorjauskluusterin trendit.pdf