

Jaakko Haverinen

Betonijulkisivun vauriot

Insinööri (AMK),
rakennustekniikka

Kevät 2020



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä: Haverinen Jaakko

Työn nimi: Betonijulkisivun vauriot

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), rakennustekniikka

Asiasanat: kuntoarvio, kuntotutkimus, betonirakenteet

Tämä insinöörityö sisältää kirjallisuusselvityksen betonirakenteisten julkisivujen vaurioista. Työn tavoitteena oli selvittää erilaisten vaurioiden syntyä ja etenemistä. Työn lähtökohtana oli kerrostalon parvekkeissa havaittujen vaurioiden syiden selvittäminen.

Kuntotutkimuksen tekijän on hallittava oman rakennusalan osaamisen lisäksi myös menneiden vuosikymmenten rakennusmateriaalit sekä rakentamista koskevat määräykset ja ohjeet. Työssä käsitellään myös betonirakenteisiin liittyviä vanhoja määräyksiä ja ohjeita.

Betonirakenteissa esiintyy monia erityyppisiä vaurioita. Yleensä vaurioiden aiheuttajia ovat raudoituksen korrosio ja betonissa esiintyvät rapautumiset. Raudoituksen korrosio johtuu yleensä betonin karbonatisoitumisesta. Kun betonin karbonatisoituminen saavuttaa raudoituksen, raudoitteiden ympärillä oleva suojabetoni menettää suojaominaisuudet. Ulkoseinissä korroosiolle alttiita paikkoja ovat pieli- ja reunateräksiset, joiden peitepaksuudet ovat yleensä vähäisiä. Karbonatisoitumisen nopeus voidaan arvioida ns. neliöjuurimallilla. Betonin rapautuminen johtuu yleensä pakkasrapautumisesta, jossa betonin suojuhuokosverkostossa oleva vesi jäätyy. Jäätymisen seurauksena vesi laajenee ja aiheuttaa betoniin vaurioita.

Julkisivun aistinvaraisessa tarkastelussa on tarkoituksena havaita mahdollisia vaurioita silmämääräisesti rakenteita rikkomattomin menetelmin. Vasaroimalla rakenteita yritetään löytää rapautumia. Rapautuneen elementin tunnistaa matalammasta koputusäänestä. Laajempia tutkimuksia suoritetaan laboratoriokeihin.

Betonirakenteiden korjaustavat riippuvat vaurioiden laajuudesta. Pienemmissä vaurioissa voidaan korjaukset tehdä laastipaikkauksella. Suuremmissa vaurioissa voidaan joutua tekemään valukorjauksia, peittäviä korjauksia ja pahimmillaan joudutaan uusimaan vaurioituneet rakenteet.

Abstract

Author(s): Haverinen Jaakko

Title of the Publication: Damage to the concrete facade

Degree Title: e.g. Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Keywords: condition assessment, research of conditions, concrete structures

This engineering work includes a literature review on damage to concrete-framed facades. The aim of the study was to determine the origin and progression of various lesions. The starting point of the work was to find out the causes of the damage observed in the balconies of the apartment building.

In addition to his own expertise in the construction industry, the author of the examiner survey must also master the building materials of the past decades and the regulations and instructions concerning construction. The work also deals with old regulations and instructions related to concrete structures.

There are many different types of damage to concrete structures. Usually the causes of damage are corrosion of the reinforcement and weathering in the concrete. Corrosion of reinforcement is usually due to carbonation of the concrete. When the carbonation of the concrete reaches the reinforcement, the protective concrete around the reinforcements loses its protective properties. Sites prone to corrosion in external walls are edge and edge steels, which usually have small cover thicknesses. The rate of carbonation can be estimated by the so-called the square root model. The weathering of the concrete is usually due to the frost damage, in which the water in the protective pore network of the concrete freezes. As a result of freezing, the water expands and causes damage to the concrete.

The purpose of the organoleptic examination of the façade is to detect possible damage visually by non-destructive methods. Hammering structures attempts to find erosions. The weathered element is identified by a lower knocking sound. Extensive studies are performed by laboratory experiments.

The methods of repairing concrete structures depend on the extent of the damage. For minor damage, repairs can be made with a mortar patch. Larger damage may require cast repairs, opaque repairs, and at worst, damaged structures.

Sisällys

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONIRAKENTAMINEN SUOMESSA, RAKENNUSKANTA 1970-LUVULLA.....	2
3	KUNTOARVION JA KUNTOTUTKIMUKSEN EROT	4
4	VANHAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	7
5	BETONIRAKENTEIDEN VAURIOT.....	11
5.1	Betonin rapautumisilmiöt.....	11
5.1.1	Pakkasrapautuminen	11
5.1.2	Ettringiittireaktio	14
5.1.3	Alkalikiviainesreaktio	15
5.2	Raudoituksen korroosio.....	16
5.2.1	Korroosio yleensä	16
5.2.2	Betonin karbonatisoituminen.....	18
5.2.3	Karbonatisoitumisen eteneminen	20
5.2.4	Kloridit.....	22
6	BETONIVAURIOIDEN TUTKIMUSMENETELMÄT	23
6.1	Aistinvaraiset havainnot ja betonin rapautumisen tutkiminen	23
6.2	Raudoituksen korroosion tutkiminen.....	27
6.3	Muut tutkimukset	29
7	BETONIRAKENTEIDEN LAASTIPAIKKAUKSET	31
8	POHDINTA.....	32
	Lähteet	33

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tarkastellaan betonirakenteisten julkisivujen vaurioita. Vaurioiden syyt eivät ole itsestään selviä. Vaurioihin voi vaikuttaa rakennusajankohta, aikakaudelle tyypilliset rakentamisratkaisut, materiaaleissa olleet ongelmat ja säärasitukset.

Työn tavoitteena oli saavuttaa kokonaiskuva vaurioiden syntymekanismeista. Jotta vaurioita voidaan lähteä kunnostamaan, pitää olla selvät suunnitelmat, miten korjaustoimenpiteet voidaan suorittaa.

2 BETONIRAKENTAMINEN SUOMESSA, RAKENNUSKANTA 1970-LUVULLA

1900-luvun alkupuolen kaupungistuminen ja teollistuminen edellyttivät rakentamisen tehokkuutta Suomessa. Betoni otettiin käyttöön kaikilla rakentamisen osa-alueilla sen hyvien ominaisuuksien takia. [1.]

Suomessa betoniteollisuus lähti liikkeelle 1940–1950-lukujen vaihteessa elementtitekniikan avulla. Ensimmäiset julkisivuelementit asennettiin Viljo Revellin suunnittelemaan Palace-nimiseen taloon. Varhaiselta betonirakentamisen aikakaudelta Suomessa tunnetuimpia rakennuksia on Helsingin yliopiston Porthania-rakennus. [1.]

1930-luvulla rakennusten esteettisenä ihanteena oli funktionalistiset valoisat, valkeat, sileät ja hygieeniset rakennukset. Modernimpi betonirakentaminen alkoi kehittyä 1950-luvulla Alvar Aallon toimesta. 1960–1970-luvulla rakennettiin paljon lähiöitä, koska muuttovirta maalta kaupunkiin oli niin suurta. Betonirakentaminen oli tässä loistava ratkaisu, koska voitiin rakentaa nopeasti ja kustannustehokkaasti uusia asuntoja. [1.]

Vuosina 1968–1970 asuinrakentamiseen kehitettiin avoin BES-järjestelmä. Se perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja välipohjina käytettäviin pitkälaattoihin. Parvekkeet olivat vapaasti perustuksilla seisovia torneja. Laattaelementteinä alettiin käyttää esijännitettyjä ontelo- ja kotelolaattoja. BES-järjestelmässä on standardit betonielementeille ja liitosdetaljeille. Järjestelmän ansiosta urakoitsijat pystyivät hankimaan valmisosia eri toimittajilta. [1.]

BES-järjestelmän ansiosta 1970-luvulla pystyttiin rakentamaan ennätysmäärä kerrostaloja. Rakennusten visuaaliseen puoleen ei kiinnitetty huomiota, ja aikakauden rakennukset ovat laatikkomaisia kokonaisuuksia. [1.]

1980-luvulla alettiin kiinnittää huomiota enemmän visuaalisuuteen ja 1990-luvun betonirakennukset ovat monimuotoisempia kuin 1970-luvulla rakennetut rakennukset. [1.]

Nykyaikana rakentamisen asenteiden muutoksen takia betoni tarjoaa monipuolisia variaatiomahdollisuuksia. [1.]

1970-luvulla kerrostalojen runko- ja ulkoseinärakenteita olivat elementtilähiöt, kirjahyllyrunkoiset- ja betonipilarirunkoiset talot. 1970-luvulla yleisin runkotyyppi oli kirjahyllyrunko, jossa pystyt betoniseinät olivat kantavina rakenteina. Lamellitaloissa kantavina rakenteina olivat runkoon nähden poikittaiset seinät ja umpinaiset päätyseinät. Muilla ulkoseinillä ei ollut kantavaa vaikutusta. [2, s. 150.]

Osaelementtirakenteisessa kirjahyllyrungossa kantavat väliseinät sekä välipohjat toteutettiin paikalla valaen suurmuottien avulla. Julkisivut rakennettiin joko kokonaan tai osittain elementeistä. Rakennuksen välipohjaratkaisun takia kantavia välipohjia jouduttiin käyttämään paljon. Ulkoseinärakenteena oli useimmiten betonisandwich-elementtirakenne. [2, s. 150.]

Täyselementtirakenteisessa kirjahyllyrungossa väliseinät ja välipohjat olivat massiivisia betonielementtejä. Kantavia väliseiniä oli paljon. Ulkoseinärakenteena oli useimmiten betonisandwich-elementtirakenne. [2, s. 150.]

Täyselementtirakenteisissa kirjahyllyrungoissa (BES) käytettiin esijännitettyjä ontelo- tai U-laattoja, joiden avulla jänneväliä voitiin kasvattaa yli 10 metriin. Tämän ansiosta kantavia väliseiniä oli pääosin vain huoneistojen välillä. [2, s. 150.]

1960-1970 luvuilla tehokas urakoitsijavetoinen elementtirakenteinen rakennuskanta tuotti esteettisesti ankeita kokonaisuuksia. Tuotantotekninen ja investointikustannuksiltaan edullinen kerrostalo koostui samanlaisista elementeistä, parveketornit rakennettiin julkisivun ulkopuolelle. Toisinaan julkisivun ilmettä yritettiin parantaa pintamateriaalin värin tai pintakäsittelyn avulla. [2, s. 158.]

Kiihkein kerrostalojen rakennusajankohta ajoittui 1970–1975 väliselle ajanjaksolle. Vuonna 1974 rakennettiin noin 4 500 kerrostaloa [3, s. 8.]

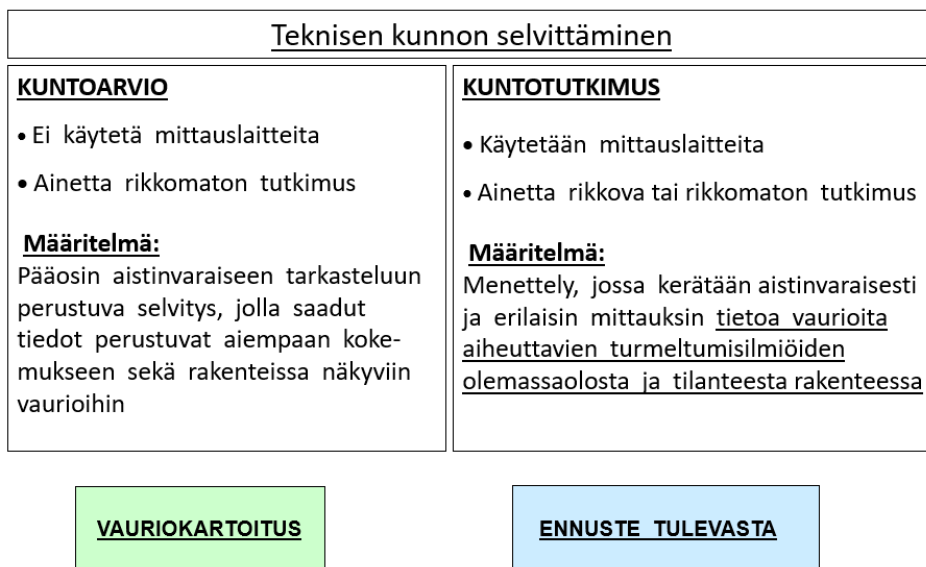
Aikakauden betonielementeissä voi olla teknisiä heikkouksia, koska rakennukset piti saada rakennettua mahdollisimman kustannustehokkaasti, eikä betonirakentamisen tekninen tietämys ollut vielä kovinkaan niin hyvällä tasolla kuin nykyään on. 1980–1990-luvuilla tietämyksen lisääntyessä ja kehityksen kasvaessa betonielementtien laatu on parantunut huomattavasti ja tekninen käyttöikä on kasvanut merkittävästi. [2, s. 158.]

3 KUNTOARVION JA KUNTOTUTKIMUKSEN EROT

Kuntoarvio tehdään esimerkiksi asuntokaupan yhteydessä omakotitaloihin tai osakehuoneistoihin. Kuntoarvio voidaan tehdä myös kiinteistöön tai tiettyyn kiinteistön osaan, kuten parvekkeet ja julkisivut. Kuntoarvion suorittaa rakennustekniikan asiantuntija. Kuntoarvion tarkoituksena on selvittää tutkittavan kohteen rakennustekninen kunto, korjaustoimenpiteet ja mahdolliset terveys- ja turvallisuusriskit. [3, s. 3.]

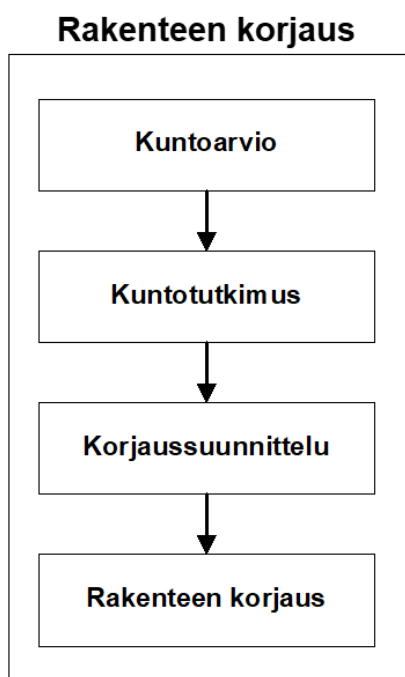
Kuntoarvio perustuu aistinvaraisiin havaintoihin, eikä ainetta rikota tutkimuksen aikana. Kiinteistön kuntoarviossa selvitetään tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien sekä ulkoalueiden kunto, joiden pohjalta laaditaan raportti. Raportista saadaan selville kokonaiskuva kiinteistöstä, havainnot laitetaan tärkeysjärjestykseen. Tärkeimpinä havaintoina ovat terveyteen ja turvallisuuteen tehdyt havainnot. Toiseksi tärkeimpiä havaintoja ovat vauriot, joiden korjauskustannukset ovat merkittäviä ja niillä voi olla vaikutuksia turvallisuuteen. Kuntoarvioon laaditaan tekninen pts-ehdotus, jossa on arvioitu tulevat korjaukset vuosittain ja kustannusarvio korjausten hinnasta. [3, s. 3 - 4.]

Kuntoarvion pohjalta voidaan ehdottaa kuntotutkimusta. Kuntoarvio sisältää rakennusosan tai järjestelmän tarkan tutkimuksen. Kuntotutkimus on usein rakenteita rikkova toimenpide, jossa käytetään mittalaitteita. Kuntotutkimuksella saadaan selville tutkimuskohteen vauriot, syyt, laajuus ja tulevaisuudessa tulevista vaurioista. Kuvassa 1 sivulla 3 on esitetty kuntoarvion ja kuntotutkimuksen eroavaisuuksia. [3, s. 4.]



Kuva 1. Kuntoarvion ja kuntotutkimuksen erot. [3, s.4]

Jos jokin rakenneosaa on siinä kunnossa, että sen kunto on selvitettävä tutkimuksilla, tehdään ensin yleispiirteinen kuntoarvio. Kuntoarviossa voidaan jatkotoimenpiteenä suositella tarkempaa kuntotutkimusta. Kuntotutkimuksessa selvitetään todellinen korjaustarve. Kuntotutkimus sisältää korjaussuunnittelun lähtötiedot. Kuvassa 2 on esitetty korjaushankkeen eteneminen. [3, s. 5.]



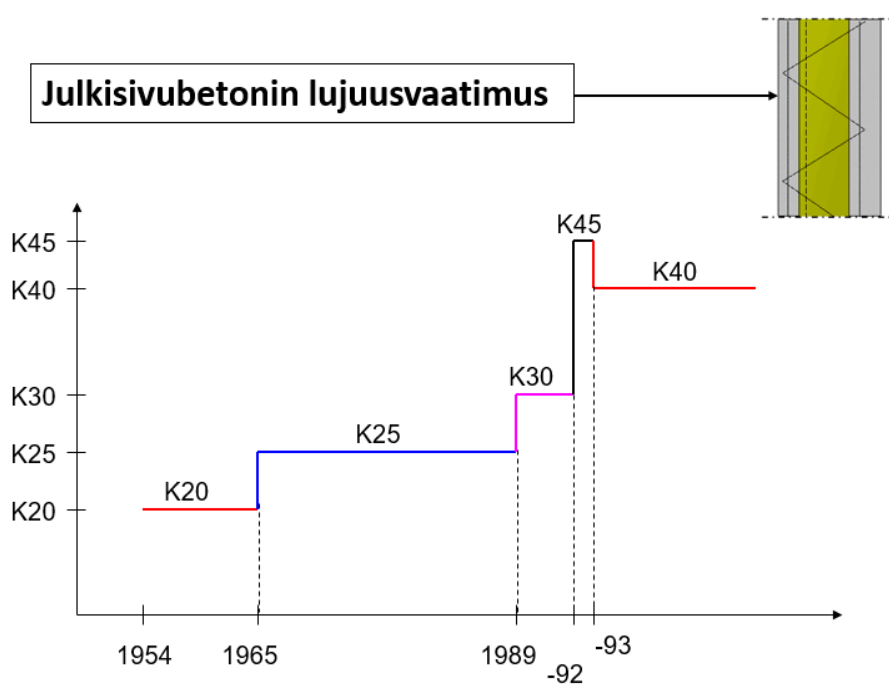
Kuva 2. Korjaushankkeen eteneminen. [3, s. 5.]

Kuntotutkimuksia voidaan tehdä eri rakennusosiin:

- Julkisivut (betoni ja rappaus), parvekkeet
- Kosteus- ja homevaurioitunut rakennus
- Sisäilmatekninen
- IV-tekkinen
- Vesi- ja viemäri-laitteistot
- Sähkölaitteet

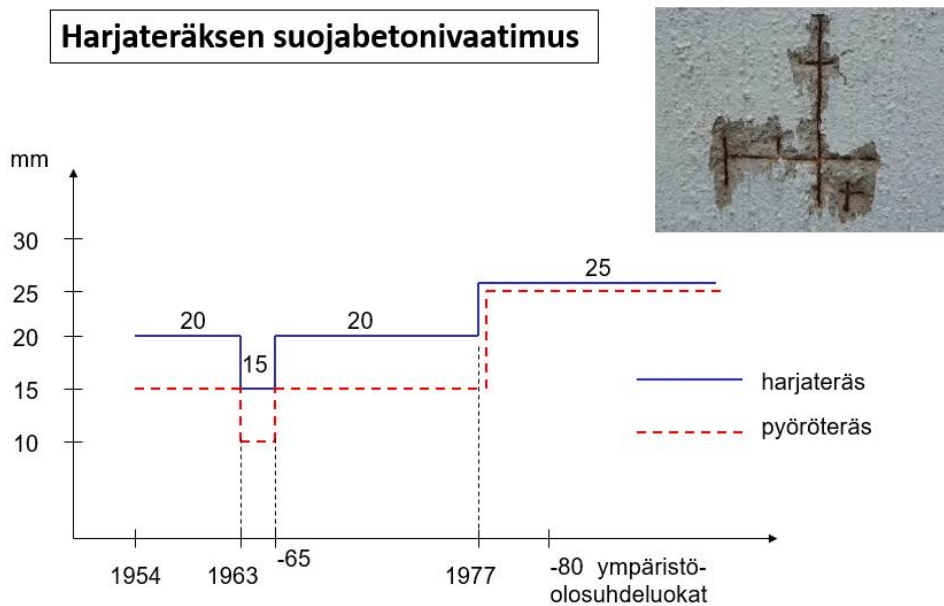
4 VANHAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

Betonin lujuus ilmoitettiin kuutiolujuuden avulla. Vanhojen määräysten aikana julkisivuissa betonin lujuusvaatimukset olivat selvästi vähäisempiä kuin nykyään. Vielä 1950-luvulla julkisivubetonin lujuusvaatimukseksi riitti K20. Vuonna 1966 lujuusvaatimusta nostettiin lukemaan K25. Vuosina 1989–1993 muutettiin jälleen lujuusvaatimuksia välillä K30–K45. Kuvassa 3 on esitetty julkisivubetonin lujuusvaatimus eri vuosina. [3, s. 9.]



Kuva 3. Julkisivubetonin lujuusvaatimukset. [3, s. 9.]

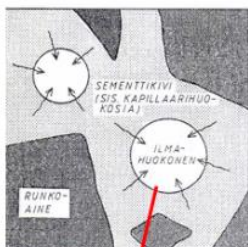
Harjateräksen suojabetonivaatimus on vaihdellut vuosien 1954 ja 1977 välisenä aikana 15 millimetristä 25 millimetriin. Pyöröteräksillä vastaavana aikana suojabetonivaatimus on vaihdellut 10 millimetristä 25 millimetriin. Kuvassa 4 on esitetty tarkemmin teräksien suojabetonivaatimukset eri vuosina. [3, s. 10.]



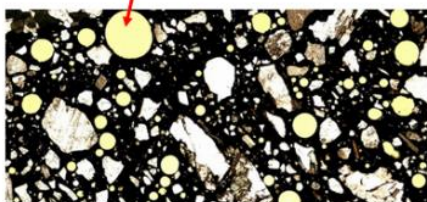
Kuva 4. Harja- ja pyöröteräksen suojabetonivaatimukset. [3, s. 10.]

Julkisivubetonin pakkasenkestävyysvaatimukset on esitetty betoninormeissa. Vuonna 1976 tulleiden yleisten ohjeiden mukaan suojuhuokossuhteen piti olla välillä $> 0,15 \dots 0,20$. Vuonna 1980 tuli pakkasenkestävyydestä betoninormeihin vaatimus. Vuonna 2000 julkaistuissa betoninormeissa määriteltiin suojuhuokosvaatimukset eri ympäristöluokkiin. Ympäristöluokassa Y1 suojuhuokosvaatimus oli 0,25 ja ympäristöluokassa Y2 vaatimus oli 0,20. Vuodesta 2004 lähtien vaatimukset on esitetty betoninormeissa BY50. Kuvassa 5 on esitetty mikroskoopilla otettu ohut-hiekuva huokostetusta betonista. [3, s. 10]

Julkisivubetonin pakkasenkestävyyksivaatimus:



Esim. Suojahuokossuhde 0,15 – 0,20
= 15 – 20 % suojahuokosia betonin kokonaishuokostilavuudesta



Huokostettu betoni
Kuva-ala noin 5 mm x 9 mm.

Kuva 5. Mikroskoopilla otettu ohuthiekuva huokostetusta betonista. [3, s. 10.]

Kalsiumkloridipitoisuuden tuli olla vuoden 1965 betoninormien mukaan alle 2 % sementin painosta. Vuonna 1992 Betoniyhdistyksen säilytysohjeessa määritettiin kalsiumkloridipitoisuudeksi alle 0,2 % sementin painosta. Kloridipitoisuuden kynnyсарvo betonin painosta on 0,03 ... 0,07 %. Kuva 6:ssa on esitetty sallitut kalsiumkloridipitoisuudet. [2, s. 11.]

Kalsiumkloridipitoisuus (CaCl₂):

- 1965 betoninormit:
 < 2 % sementin painosta
 - 1992 Betoniyhdistyksen säilyvyysohje:
 < 0,2 % sementin painosta
- Huom!** Kloridipitoisuuden kynnyсарvo
betonin painosta 0,03 ... 0,07 %

Kuva 6. Betonin kalsiumkloridipitoisuuden raja-arvot. [3, s. 11.]

Rakennuselementtien elastisissa saumoissa on käytetty PCB:tä ja lyijyä ainakin vuoteen 1973 saakka ja joissakin yksittäistapauksissa vielä myöhemminkin. Muissa massoissa on voinut olla lyijyä vielä 1980-luvulle saakka. Jos saumamassan pitoisuus ylittää arvon 50 mg/kg ja lyijypitoisuus on yli 1500 mg/kg, ympäristöministeriön mukaan kyseessä on ongelmajätettä. Purkutöitä tehtäessä laaditaan suunnitelmat, joiden mukaan työvaiheessa estetään pölyn leviäminen ympäröiviin tiloihin. [3, s. 11.]

Asbestia käytettiin ennen hyvin laajasti eri rakennusmateriaaleissa. Runsainta käyttö oli 1960- ja 1970-luvuilla. Asbestin käyttö kiellettiin Suomessa vuonna 1993. Kuvassa 7 on esitetty asbestin esiintymistä eri rakennusmateriaaleissa. [3, s. 11.]

Asbesti maaleissa ja rakennusmateriaaleissa

- Asbestin uuskäyttö kiellettiin Suomessa 1993
- Rakennusmateriaaleissa runsaasti 1960- ja 1970-luvulla
- Betonisten, kevytbetonisten, rapattujen ja asbestisementtisten julkisivujen maalaamiseen tarkoitetuissa maaleissa vuosina 1960–1988



Kuva 7. Asbestia sisältäviä vanhoja rakennusmateriaaleja. [3, s. 11]

5 BETONIRAKENTEIDEN VAURIOT

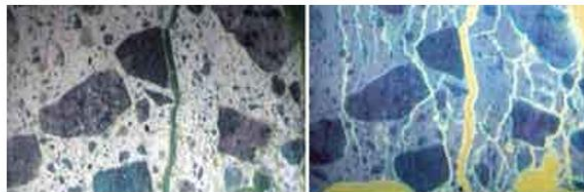
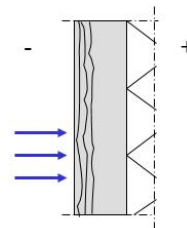
5.1 Betonin rapautumisilmiöt

5.1.1 Pakkasrapautuminen

Olosuhteet, jotka Suomessa vallitsevat, altistavat betonijulkisivuja sekä parvekkeita pakkasrapautumalle, joka onkin yleisin rapautumisilmiö. Yksittäisissä rapautumisissa voi olla kyseessä jokin muu rapautumisilmiö. Eri rapautumisilmiöt ovat hyvin samantyyliisiä, joten rapautumisen ilmiötä on hankala selvittää aistinvaraisesti. Yleisimpänä syynä rapautumiseen on korkea kosteusrasitus. Kuvassa 8 on esitetty pakkasrapautumisen vauriokuvaus sekä mikroskoopilla otettu ohuthiekuva rapautuneesta betonirakenteesta. [3, s. 19.]

Pakkasrapautuminen

- Aiheuttaa betonin huokosissa olevan veden jäätyminen
- Ilmenee betonin säröilyinä (halkeiluna)
- Halkeamat etenevät jäätymisrintaman suuntaisesti



Kuva 8. Pakkasrapautumisen vauriokuvaus [3, s. 19.]

Pakkasrasituksessa betoninhuokosverkossa oleva vesi laajenee jäätyessään ja aiheuttaa samalla painetta. Vesi laajenee jäätyessään noin 9 %. Huokosverkostossa oleva vesi ei jäädy samaan aikaan lämpötilan laskiessa veden jäätympisteen alapuolelle. Jotta jäätymisestä tulevasta paineesta selvitään ongelmitta, on betonissa oltava ilmahuokosia, jotka eivät täyty vedellä kapillaari-ilmiön vaikutuksesta ja joihin laajeneva vesi voi nousta.

Pakkasen kestävyden kannalta tarvitaan riittävän tiheästi suojahuokosia. Riittävä määrä saadaan aikaiseksi käyttämällä lisähuokostusainetta. Ilmahuokokset ovat kooltaan suurempia kuin kapillaarihuokokset. Ilmahuokokset eivät täyty vedellä pitkässäkään kosteusrasituksessa. [4, s. 30.]

Riittävä ilmamäärä betonimassaan ei takaa sitä, että huokosten välimatka pakkasen kestävyden kannalta on riittävän pieni. Betonimassaan pyritään tuottamaan paljon pieniä ilmahuokosia, sen sijaan, että tuotettaisiin vähän suuria huokosia. Etäisyystekijäksi tai huokosjaoksi kutsutaan suojahuokosten keskimääräistä välimatkan puolikasta. Pakkasen kestävyden kannalta turvallisena etäisyystekijän arvona pidetään 0,20–0,25 mm. [4, s. 30.]

Julkisivujen ja parvekkeiden suojahuokostus on ollut puutteellinen, koska lisähuokostusta ei ole käytetty systemaattisesti ennen 1970-luvun puoliväliä. Pahimpia ongelmia on esiintynyt erityisesti pesubetonissa ja klinkkeribetonissa julkisivujen ja parvekkeiden osalta, koska suojahuokostus on epäonnistunut. Jotkin vanhat betonirakenteet ovat voineet selvitä pakkasrasituksesta, mikäli betoni on ollut riittävän lujaa ja kosteusrasitus on ollut vähäinen. Vanhoja rakenteita kunnostettaessa pyritään pienentämään kosteusrasitustasoa. Pakkasen kestävyden kannalta tärkeä asia on betonin tiiveys. Alhainen vesisementtisuhte vähentää veden imeytymistä betoniin. [4, s. 30 - 31.]

Viime vuosina betonin lujuuden kasvaessa on käyty keskustelua, tarvitseeko betonia lisähuokostaa vai saadaanko riittävä pakkasen kestävyys pelkästään betonin lujuutta lisäämällä. Tämänhetkisen tiedon mukaan lisähuokostusta tarvitaan betonin pakkasvaurioiden estämiseksi. Betonin laadun lisäksi haasteita aiheuttavat rasitusolosuhteet ja rasitussykliin pituudet. Suomen pakkasrasitusolosuhteet ovat korkeamman sademäärän takia rannikolla ja Etelä-Suomessa. [4, s. 31 - 32.]

Pakkasrapautumisen vauriot havaitaan betonissa säröilyinä. Säröily heikentää betonin ominaisuuksia, koska vesi pääsee rakenteiden sisälle ja vauriot kasvavat. Rasituksen jatkuessa betoni alkaa rapautua. Pitkään jatkunut rapautuminen näkyy rakenteen pinnassa halkeamina, elementtien kaareutumisenä ja pahimmillaan betonin lohkeiluna. Alkuvaiheessa olevaa pakkasrapautumaa ei voi havaita aistinvaraisesti tai rakennetta vasaroimalla. Jotta alkuvaiheessa olevat vauriot voidaan tunnistaa, tarvitaan laajempia tutkimuksia. Mitä nopeammin vauriot saadaan selville, sitä nopeammin voidaan ryhtyä korjaustoimenpiteisiin ja rasitus saadaan loppumaan. Rapautuminen vaikuttaa betonin veto- ja puristuslujuuteen, minkä seurauksena rakenteiden kantavuus ja turvallisuus voivat heiketä. Kuvassa 9 on esitetty pakkasrapautuman eteneminen betonisandwichseinän ulkokuoressa. [3, s. 19.] Kuvassa 10 rapautuminen näkyy rakenteen pinnassa halkeamina.



- **Alkuvaiheessa** olevaa pakkasrapautumaa ei voida havaita silmämääräisesti
 - **Pitkälle edennyt** pakkasrapautuma:
 - Rakenteen pinnan halkeilu ja lohkeilu
 - Elementtien kaareutuminen
 - Rakenteen tilavuuden kasvu
- ➡ Elementtien saumojen pullistuminen

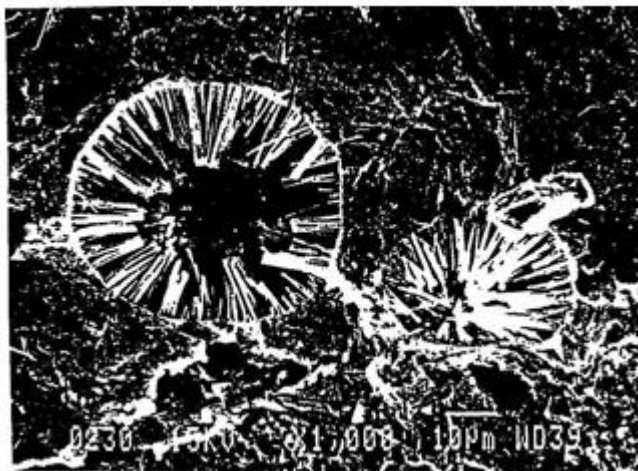
Kuva 9. Pakkasrapautuman eteneminen betonisandwichseinän ulkokuoressa. [3, s. 19.]



Kuva 10. Pakkasrapautunut pieliseinä [6, s. 5.]

5.1.2 Ettringiittireaktio

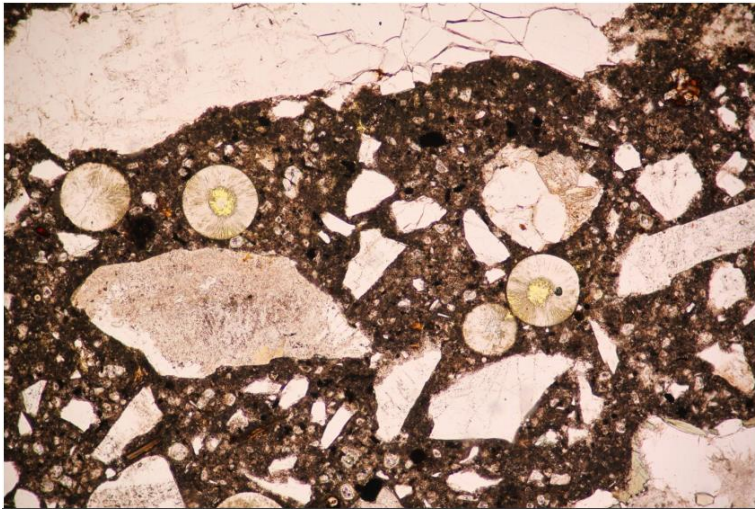
Ettringiittimineraali on harvinainen luonnossa, mutta sitä esiintyy betonissa luonnostaan, koska se on tärkeä sementin hydrataatiotuote, joka vaikuttaa lyhyellä aikavälillä betonin lujuuden kehitykseen ja pidempiaikaisesti betonin stabiilisuuteen. Ettringiittireaktio on kovettuneessa sementtikivessä tapahtuva sulfaattimineraalin kemiallinen reaktio. Kemiallisessa reaktiossa tapahtuu voimakas tilavuuden laajeneminen, jopa 130–140 % lähtötilanteeseen verrattuna. [4, s. 33.] Kuvan 11 ohuthiekuvassa ettringiittimineraali on kiteytynyt suojuhuokosen pinnalle. [3, s. 20.]



Kuva 11. Ettringiittireaktio [3, s. 20.]

Ettringiittireaktio saa yleensä alkunsa, kun betonissa on ollut liian voimakas lämpökäsittely kovettumisen aikana, mikä vaikeuttaa sementin kovettumisreaktiota. Ettringiittireaktio tapahtuu yleensä elementtityypeissä, joita on voimakkaasti lämpökäsitelty. [4, s. 33.]

Ettringiittireaktiossa ettringiittimineraali kiteytyy ilmatäytteisille huokosten seinämille, aiheuttaen suojuhuokosten supistumista, jonka vuoksi betonin pakkasen kestävyys heikkenee. Betoni voi rapautua reaktion seurauksena. Reaktion käynnistymiseen tarvitaan runsaasti kosteusrasitusta. Ettringiittireaktio muistuttaa pakkasrapautumaa, joten reaktio voidaan todeta luotettavasti vain ohuthien mikroskooppitutkimuksella. [4, s. 34.] Kuvassa 12 on ohuthie, missä on nähtävissä ettringiittireaktio. [7, s. 24.]



Kuva 12. Ettringiittireaktio [7, s. 24.]

5.1.3 Alkalikiviainesreaktio

Alkalikiviainesreaktiossa betonin kiviaineksessa sementtikivessä on alkalisuutta, jonka seurauksena tapahtuu paisumisreaktio, joka voi rapauttaa betonia. Alkalikiviainesreaktio jaetaan yleensä alkali-piidioksidi-, alkali-silikaatti- ja alkali-karbonaatioreaktioon reagoivan kiviaineksen mukaan. Alkalikiviainesreaktio vaatii seuraavat olosuhteet, jotta se voi tapahtua:

- Sementti sisältää runsaasti alkaleja (Na, K).
- Kiviaineksessa on heikosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja.
- Betonin kosteuspitoisuus on riittävän korkea.

Alkalikiviainesreaktion merkkejä ovat betonipinnassa oleva laikkuus, epäsymmetrinen verkko-halkeilu, paisuminen ja betonihalkeamista ulos tuleva aine. Alkalikiviainesreaktion voi sekoittaa pakkasrasituksen aiheuttamaan halkeiluun, koska ne ovat samannäköisiä vaurioita. On myös mahdollista, että alkalikiviainesreaktion ja pakkasrasituksen halkeilua esiintyy samanaikaisesti. Pakkasvauriossa halkeilu on voimakkainta ulkopinnan lähellä. Alkalikiviainesreaktiossa halkeilu syntyy syvemmällä betonissa ja halkeilu on tasaisempaa. [4, s. 35.]

Suomessa alkalikiviainesreaktio ei ole kovin yleinen, koska Suomen syväkivilajit ovat tiiviitä ja kestävät hyvin kemiallisia reaktioita. Suomessa betonijulkisivu- ja parvekerakenteissa on havaittu vain yksittäisiä tapauksia, joissa aiheuttajana on alkalikiviainesreaktio. [4, s. 34–35.]

5.2 Raudoituksen korroosio

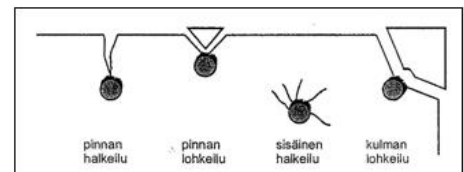
5.2.1 Korroosio yleensä

Betonin suojassa olevat raudoitukset ovat yleensä hyvin suojassa korroosiolta. Betonin alkalisuuden takia teräksen pinnalle muodostuu oksidikalvo, joka estää sähkökemiallisen korroosion. Jos betonikerros raudoituksen päällä on riittävän paksu, niin se voi ehkäistä haitallisten aineiden kuten happojen ja kloridien pääsyn raudoitukseen. [4, s. 20.]

Betonin sisällä olevat raudoitukset voivat kärsiä korroosiosta, mutta siihen tarvitaan betonin karbonatisoitumista tai kloridien läsnäoloa raudoitusta ympäröivässä betonissa. Betonin menetettyä suojauskykynsä on rauditus alttiina korroosiolle. Korroosion syntyminen on riippuvainen kosteusrasituksesta, betonin laadusta ja suojabetonin paksuudesta. Tätä hetkeä kutsutaan korroosion käynnistymisvaiheeksi. Aktiiviseksi korroosioksi kutsutaan vaihetta, jossa rakenteen kelpoisuus on menetetty ja korjaustoimenpiteet on aloitettava. Ympäristön kosteusrasituksella on merkittävä osuus karbonatisoitumisen ja korroosion etenemiseen. [4, s. 20.] Kuvassa 13 on havaittavissa terästen korroosion aiheuttama betonipinnan vaurio [3, s. 15.]



Terästen korroosion aiheuttama vaurio teräsbetonirakenteessa



Kuva 13. Korroosion aiheuttama vaurio [3, s. 15]

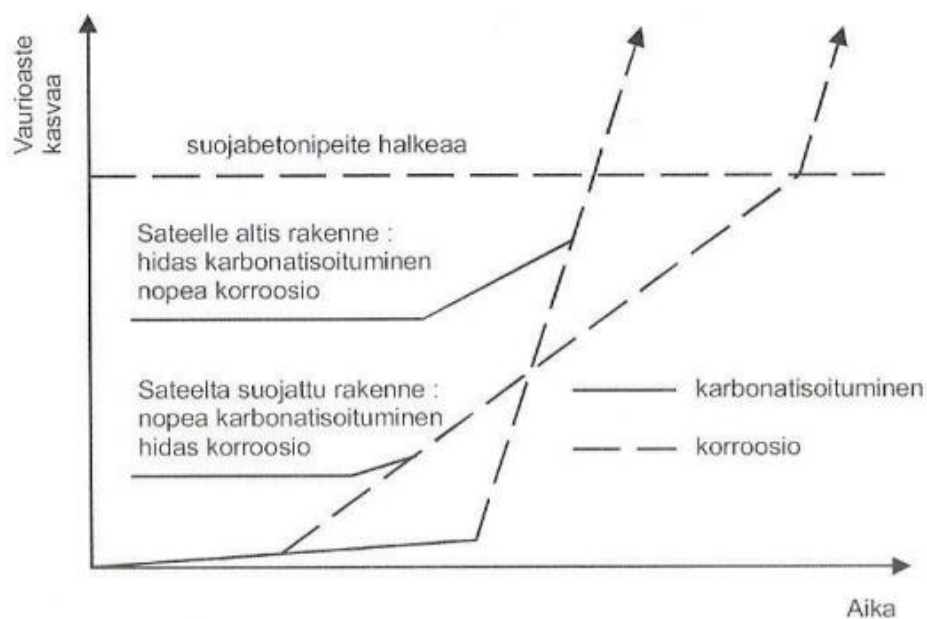
Korroosiossa raudoituksesta lähtee materiaaleja irti, jonka seurauksena raudoituksen poikkileikkaus pienenee ja kantavuus heikkenee. Korroosion vaikutukset havaitaan aluksi betonin pinnassa, koska betoni halkeilee ja lohkeilee irti. Raudoitteita voidaan suojata korroosiolta seuraavilla tavoilla:

- Käyttämällä riittävän paksua ja hyvälaatuista betonipeitettä raudoitteen suojana.
- Estämällä veden, hiilidioksidin ja/tai kloridien tunkeutumista rakenteeseen pinnoitteen avulla (pinnoitteet vaativat huolto- ja uusintakäsittelyjä).
- Käyttämällä sinkittyjä raudoitteita (sinkitys suojaa raudoitteita ainoastaan karbonatisoituneessa betonissa).
- Käyttämällä ruostumattomia raudoitteita (saavutetaan suojavaikutus myös kloridipitoisessa betonissa).

- Käyttämällä epoksinnoitettuja raudotteita (pistekorroosion mahdollisuus erityisesti kloridipitoisessa betonissa, koska pinnoite ei ole täysin yhtenäinen).
- Käyttämällä katodista suojausta saavutetaan suojavaikutus erityisesti kloridipitoisessa betonissa. [4, s. 20 - 21.]

5.2.2 Betonin karbonatisoituminen

Karbonatisoitumisessa betonin huokosveden pH-arvo alenee. Reaktion seurauksena ilman sisältämä vesi pääsee tunkeutumaan betoniin. Karbonatisoituminen on sateelle alttiissa rakenteessa hidas tapahtumaketju, se alkaa betonin pinnasta ja menee vähitellen syvemmälle rakenteisiin. Sateelta suojassa olevassa rakenteessa karbonatisoituminen on nopeaa ja korroosio hidasta. Betonissa olevat halkeamat päästävät hiilidioksidia betoniin, betonin huokosrakenne ja kosteuspiitoisuus vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti hiilidioksidi pääsee betoniin. Karbonatisoitumisen estämiseksi julkisivun betonilla on suuri merkitys, koska mitä tiiviimpää betoni on, sitä vaikeampaa karbonatisoitumisen on. Kuvassa 14 on esitetty saderasituksen vaikutus karbonatisoitumiseen. [4, s. 21.]



Kuva 14. Saderasituksen vaikutus karbonatisoitumiseen [4, s.21.]

Sadevedellä on karbonatisoitumiseen hidastava vaikutus, koska huokosverkoston täytyessä vedellä hiilidioksidin tunkeutuminen hidastuu. Karbonatisoitumisnopeus voi olla aivan erilaista eri kohdissa julkisivua, koska etenemisnopeuteen vaikuttavat useat tekijät. Karbonatisoitumisen nopeuteen vaikuttavat pintamateriaalit ja -tarvikkeet, jotka voivat hidastaa hiilidioksidin pääsyä betonin sisälle. [4, s. 23 - 24.]

Teräksen korroosionopeuteen karbonatisoitumisessa ja kloridipitoisessa betonissa vaikuttavat pääasiassa seuraavat viisi tekijää:

- Huokosverkoston kosteuspitoisuus, joka vaikuttaa toisaalta elektrolyytin määrään ja toisaalta hapen saantiin.
- Rakenteen lämpötila, jonka kohoaminen nopeuttaa korroosiota.
- Betonin kloridipitoisuus.
- Betonin tiiviys.
- Raudoituksen suojabetonipeitteen paksuus (betonipeitepaksuus vaikuttaa toisaalta kosteuspitoisuuteen ja toisaalta käytettävissä olevan hapen määrään).

Ulkoilmassa ja ulkobetonirakenteissa on yleensä hyvin otolliset olosuhteet korroosiolle. Ulkoilman kosteuspitoisuus ei ole stabiili, vaan se vaihtelee jatkuvasti eikä ulkoilman olosuhteiden perusteella voida tehdä luotettavia havaintoja betonirakenteen kosteudesta. Betonirakenteen sisällä vallitsevaan kosteuteen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten vesisateet, rakenteen lämpötila ulkoilmaan, tuulen nopeus, auringon paiste, pintakäsittely. [4, s. 26–27.]

Ennen kuin korroosioauriota voidaan havaita, on aktiivinen korroosiovaihe voinut kestää vuosia. Aktiiviseen korroosiovaiheen nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kosteusolosuhteet ja lämpötila. Paikat, joissa sade pääsee vaikuttamaan suoraan pintaan, ovat korroosion kannalta otollisempi vaihtoehto kuin pinta, johon sade ei pääse suoraan vaikuttamaan. Halkeaman syntymiseen on vaikutusta raudoituksen paksuudella ja betonipeitteen paksuudella. Halkeamien seurauksena korroosio nopeutuu. [4, s. 27.]

Ulkoseinissä korroosiolle alttiita paikkoja ovat pieli- ja reunateräkset, joiden peitepaksuudet ovat yleensä vähäisiä. Karbonatisoituminen voi edetä kaikilta kolmelta pinnalta samanaikaisesti. Korroosion tekemien vaurioiden laajuus pitää aina selvittää kuntotutkimuksessa, koska sillä voi olla rakenteiden turvallisuuteen vaikutuksia. Korroosio voi myös vaikuttaa ansarakenteisiin ja muihin kiinnityksiin. Ulkoseinäelementtien verkko- tai pielirauδοitteiden korroosiosta aiheutuvat haitat ovat alkuvaiheessa lähinnä esteettisiä, mutta jos korroosio pääsee etenemään pitkälle, voi ulko-kuoren lujuus tai kiinnitys vaarantua. [4, s. 27.]

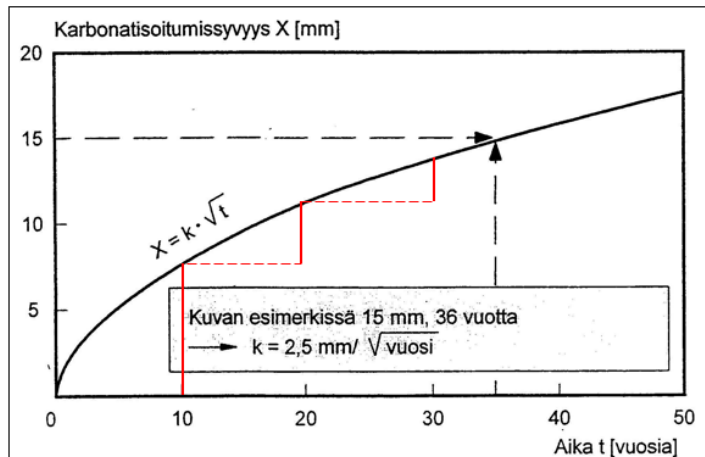
Parvekkeissa korroosiolle alttiita paikkoja ovat pieliteräkset ja kaiteiden kiinnitykset, koska peitevahvuudet ovat vähäisiä. Parvekkeissa korroosion vaikutukset ovat yleensä esteettisiä. Aktiivinen korroosio on vauhdikkainta parvekelaatoissa, joita ei ole vedeneristetty tai vedenohjaus on puutteellista. [3, s. 28.] Kuvassa 15 on nähtävissä terästen korroosion aiheuttamia vaurioita parvekepielessä sekä parvekelaatan alapinnassa. [2, s. 16.]



Kuva 15. Terästen korroosion aiheuttamia vaurioita parvekerakenteissa. [3, s. 16.]

5.2.3 Karbonatisoitumisen eteneminen

Betonin karbonatisoitumisnopeus hidastuu vanhassa rakenteessa. Paksun rakenteen etuna on se, että hiilidioksidin siirtyminen betoniin hidastuu karbonatisoitumisrintaman siirtyessä syvemmälle betoniin. Samassa kohteessa karbonatisoitumisnopeuksissa voi olla suuriakin eroja. Karbonatisoitumisen nopeus voidaan laskea ns. neliöjuurimallilla. Kuvassa 16 on laskuesimerkki karbonatisoitumissyvyyden määrittämisestä. [3, s. 17.]



Karbonatisoitumisen eteneminen neliöjuurimallin mukaan:

$$X = k \cdot \sqrt{t}$$

k = karbonatisoitumiskerroin, joka kuvaa betonin karbonatisoitumisnopeutta $\sim 1,5 \dots 3,5 \text{ mm} / \sqrt{\text{vuosi}}$

Esim. Rakennuksen ikä tutkimushetkellä on 10 v. Mitattu karbonatisoitumissyvyys $X = 11 \text{ mm}$.

=> Karbonatisoitumiskerroin:

$$k = \frac{X}{\sqrt{t}} = \frac{11 \text{ mm}}{\sqrt{10 \text{ v}}} = \frac{11 \text{ mm}}{3,16 \cdot \sqrt{\text{v}}} = 3,48 \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{v}}}$$

Koska karbonatisoitumisrintama saavuttaa esim. 20 mm syvyydessä olevat betoniteräket?

$$\sqrt{t} = \frac{X}{k} \Rightarrow t = \left(\frac{X}{k}\right)^2 = \left(\frac{20}{3,48}\right)^2 = 33 \text{ v}$$

Tilanne 40 vuoden kuluttua (rakennuksen ikä 50 v.):

$$X = k \cdot \sqrt{t} = 3,48 \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{v}}} \cdot \sqrt{50 \text{ v}} = 25 \text{ mm}$$

Kuva 16. Karbonatisoitumisen etenemistä kuvataan neliöjuurimallilla. [3, s. 17.]

5.2.4 Kloridit

Betonissa olevan riittävän korkean kynnyksarvon ylittävä kloridipitoisuus voi pahimmillaan aiheuttaa tapahtumaketjun, jonka seurauksena betonirakenteissa voi ilmetä korroosiota. Tämä on mahdollista myös ilman karbonatisoitumista. Kynnyksarvona pidetään rajaa noin 0,03...0,07 p-% kloridipitoisuutta betonin painosta. [4, s. 25.]

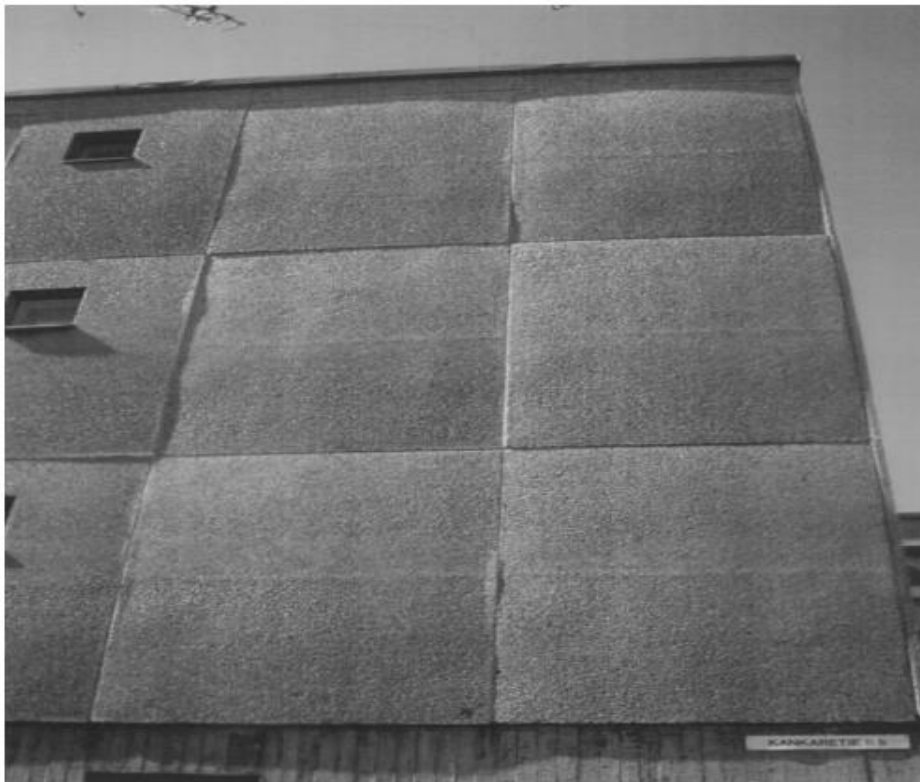
Kloridikorroosion tunnistaa siitä, että se tapahtuu voimakkaasti pistemäisenä, etenkin jos kloridit ovat päässeet tunkeutumaan kovettuneeseen betoniin. Kloridikorroosio voi edetä salakavalasti, koska sen havaitseminen on hankalaa. Kloridikorroosiossa syntyvät korroosiotuotteilla on paremmat liukoistumisominaisuudet kuin huokosvedellä, joten vauriot voivat edetä pitkälle ennen kuin ne havaitaan. [4, s. 25.]

6 BETONIVAURIOIDEN TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Aistinvaraiset havainnot ja betonin rapautumisen tutkiminen

Julkisivun aistinvaraisessa tarkastelussa on tarkoituksena havaita mahdollisia vaurioita silmämääräisesti rakenteita rikkomattomin menetelmin. Rapautuneiden elementtien löytämiseksi vasaroidaan betonia raskaalla vasaralla (paino n. 1 kg). Rapautuneen betonipinnan tunnistaa matalammasta koputusäänestä. Myös vasaran kimpoama pinnalta on normaalia vähäisempi. Vasarointi toimii paremmin sileillä pinnoilla, kuin karkeaksi harjatuilla ja pesubetonipinnoilla, koska isku voi murskata pinnan kohouman. [4, s. 104.]

Vasaroinnin lisäksi on syytä tarkastaa silmämääräisesti, onko elementeissä kaareutumista, halkeilua, kalkkihärmevalumia tai julkisivusaumojen kokoonpuristumista. Elementtien kaareutumista esiintyy yleisimmin pesubetonipintaisissa elementeissä. [4, s. 105.] Kuvassa 17 on seinäelementtejä, joiden ulkokuoret ovat kaareutuneet. [7, s. 8.]



Kuva 17. Kaareutuneet julkisivuelementit [7, s. 8.]

Betonissa olevaa pakkasrapautumista voidaan tutkia mikrorakennetutkimuksella tai määrittämällä betonin suojahuokossuhde. Betonissa olevaa rapautumista voidaan tutkia laboratoriossa betonin mikrorakennetutkimuksella eli ohuthietutkimuksella sekä betonin vetolujuuden määrittäminen vetokokeen avulla. Laboratoriossa tehtäviin tutkimuksiin tarvitaan poranäyte tutkittavasta kohteesta. [4, s. 106–107.]

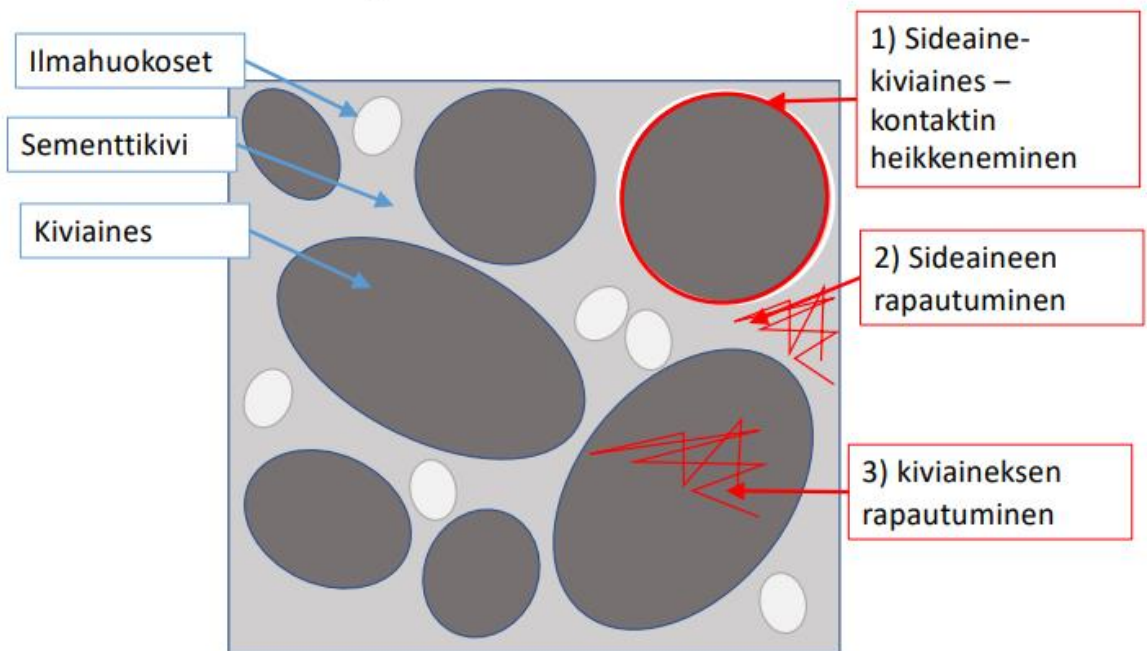
Betonin mikrorakennetutkimuksessa näytepalasta valmistetaan ohuthie, jota tutkitaan mikroskoopilla. Hienäytteestä saadaan erittäin tarkkaa tietoa betonin laadusta ja kunnosta. Mikroskooppitutkimuksilla saadaan selville:

- Betonin pakkasenkestävyys eli toimivan lisähuokostuksen olemassaolo
- Syntyneet säröt ja halkeamat sekä niiden suuntautuneisuus, josta voidaan päätellä halkeilun todennäköinen syy ja rapautumisen aste
- Huokosten täytteisyys
- Mahdolliset haitalliset reaktiot (ettringiitti, alkalirunkoaine)

Lisäksi voidaan tarvittaessa saada selville:

- Betonin laatu yleisesti
- Karbonatisoitumissyvyys
- Pintakäsittelyjen ja -tarvikkeiden tartuntatila [4, s. 107.]

Rapautumisen takia betoniin tulee hyvin pieniä mikrohalkeamia, joiden takia betonin lujuus heikkenee. Halkeamat vaikuttavat huomattavasti enemmän betonin vetolujuuteen kuin puristuslujuuteen. Tästä johtuen betonin rapautumistilannetta voidaan selvittää vetolujuustutkimuksella. Tutkimustulosten pohjalta voidaan arvioida betonin kuntoa ja mahdollisia jatkotoimenpiteitä. [4, s. 109.] Kuvassa 18 on esitetty havainnekuva rapautumisesta. [8, s. 10.]



Kuva 18. Betonin rapautuminen [8, s. 10.]

Vetolujuustutkimuksia varten otetun poranäytteen tulee olla mahdollisimman suuri betonin runkoaine huomioon ottaen. Poranäytteen halkaisijan tulee olla vähintään kolme kertaa kiviaineksen maksimiraekoko. Käytännössä näyteliön halkaisijaksi on vakioitunut n. 50 tai 75 mm. Tuloksia tarkastellessa on hyvä käyttää apuna taulukkoa. Taulukkoa voidaan käyttää vain siinä tapauksessa, että murtokohta ei ole tapahtunut esimerkiksi suureen tiivistyshuokoseen, kiveen tai teräkseen. Jotta tulokset ovat luotettavia, näytteitä pitää ottaa useasta eri kohdasta ja vertailla tuloksia, jotta saadaan kokonaiskuva tilanteesta. Alhaiselle vetolujuudelle voi olla muitakin syitä kuin betonin rapautuminen. Syinä rapautumiselle voi olla runkoaineen laatu, betonin heikko lujuustaso ja betonin kuormista johtuva halkeilu. [4, s. 110.] Rapautumistilanteen arviointi veto-koetulosten perusteella on esitetty kuvassa 19. [3, s. 29.]

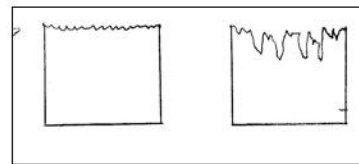
Vetokoe: (MPa = MN/m²)

Vetolujuus	Todennäköinen rapautumistilanne
n. 0,1 MPa	Näytteessä pitkälle edennyttä rapautumaa
n. 0,5 MPa	Näytteessä jonkin verran rapautumaa
n. 1,0 MPa	Näytteessä voi olla alkavaa rapautumaa
n. > 1,5 MPa	Rapautuminen epätodennäköistä



Rapautumaton

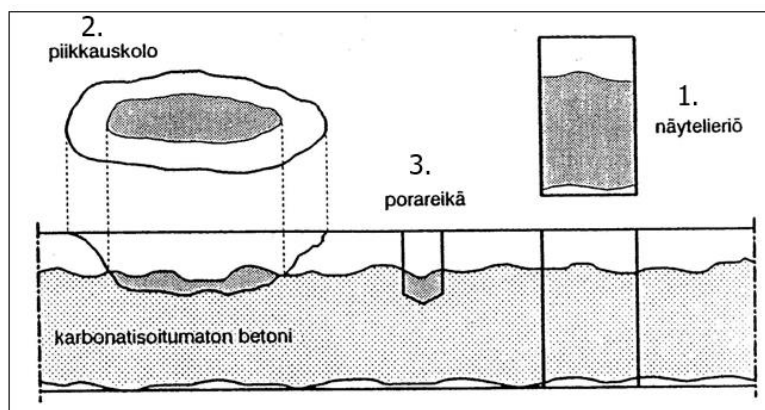
Rapautunut



Kuva 19. Rapautumistilanteen arviointi vetokoetulosten perusteella. [3, s. 29.]

6.2 Raudoituksen korroosion tutkiminen

Betonin karbonatisoitumista tutkittaessa selvitetään, miten syvälle betonissa on neutralisoituminen edennyt eli rauditus on menettänyt korroosiota suojaavan ominaisuutensa. Betonin karbonatisoitumissyvyys mitataan pH-indikaattorilla, jolla saadaan selville karbonisoitunut (pH noin 8) ja karbonisoitumaton betoni (pH 13...14). [3, s. 97.] Kuvassa 20 on esitetty karbonatisoitumissyvyyden mittaamistapoja. [8, s. 27.]



Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen rakenteesta ja näytteestä



Kuva 20. Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen rakenteesta ja näytteestä. [3, s. 24.]

Karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen voi olla haastavaa, koska tulokset voivat vaihdella näytteen matkalla. Ulkokuoren läpi poratuissa näytteissä selvitetään aina takapinnan karbonatisoitumissyvyys. Yksittäiset poikkeuksellisen suuret tulokset jätetään huomioimatta, koska ne voivat johtua halkeamista tai tiivistyspuutteista. Valkosementtibetonista ei voida todeta karbonatisoitumissyvyttä, koska tietyt valkosementtibetonit saattavat värjäytyä punaiseksi. Valkobetonisementtin karbonatisoitumista selvitetään mikrorakennetutkimuksella. [4, s. 99.]

Julkisivun korroosiotilassa olevien terästen määrää tutkittaessa tarvitaan vähintään kuusi rinnakkaista mittausta kutakin tutkittavaa rakenne- tai pintatyyppiä kohden. Tällä näytemäärällä ei kuitenkaan saada varmuutta todellisesta korroosion tasosta, koska todellinen korroosiomäärä poikkeaa arvioidusta merkittävästi. Suositeltavaa on ottaa useita näytteitä, jotta tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Esimerkiksi julkisivuissa tulosten hajonta voi olla merkittävää, kun taas rakennusosissa, joissa on vähän raudotteita, näytteitä ei tarvitse ottaa niin paljoa. Näytemäärään vaikuttaa vauriot tutkittavassa kohteessa. Korjaussuunnitelmia laadittaessa voidaan päätyä lisänäytteiden ottamiseen, jos teräskorroosion määrä on ratkaisevassa osassa korjaustapaa laadittaessa. [4, s. 99.]

Mittauskohdat valitaan siten, että saadaan selkeä kuva rakenteen karbonatisoitumissyvyydestä. Mittauskohdat valittaessa otetaan huomioon kohdat, joihin kohdistuu keskimääräistä saderasitusta. Saderasitus on korroosion kannalta suhteellisen vähäistä, koska pinnat, jotka ovat suojassa ja niissä karbonatisoituminen on saavuttanut teräkset nopeasti, on korroosio hidasta. Näkyviä korroosiovaurioita syntyy ensiksi alueille, joissa on kovaa saderasitusta. [4, s. 99.]

Karbonatisoitumisen kannalta ei ole suurtakaan merkitystä julkisivujen ilmansuunnilla tai näytteen oton korkeudella. Mittaustuloksia tehdään eri korkeuksista ja kohdista, jotta saadaan selville elementtien laadunvaihtelu. Sandwich-elementeissä mittauspaikat sijoitetaan elementtien keskelle ja reunoille. Mikäli mittaukset tehdään pelkästään reunoille, voidaan saada virheellinen tulos ulkokuoren taustapinnan karbonatisoitumisesta. [4, s. 100.]

Raudotteiden peitepaikkauksien kartoituksilla yritetään selvittää, kuinka paljon raudotteita on riskialttiilla alueella karbonatisoitumisesta johtavan korroosion suhteen. Tällä yritetään selvittää, miten laajoja korroosiovaurioita on tulevaisuudessa. Raudotteiden peitepaksuuksia voidaan selvittää ainetta rikkomattomin menetelmin. Tähän tarkoitukseen on olemassa mittari, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Peitepaksuuksia mitattaessa mitataan raudotteita satunnaisotoksella tutkittavasta kohteesta. Tulokset kirjataan ylös, jotta saadaan kokonaiskuva raudotteiden kokonaisvaurioista. [4, s. 100-101.]

Betonissa vaikuttavat kloridit voivat aiheuttaa raudoitukseen laajoja korroosiovaurioita hyvin pienilläkin määrillä. Raudoitteen korroosion kannalta kriittisenä kloridipitoisuutena pidetään noin 0,03 – 0,07 paino-% happoliukoista kloridipitoisuutta betonin painosta. Todellisuudessa kynnyksiarvon määrittäminen on hankalaa, koska tähän vaikuttaa betonin tiiveys, alkalisuus ja sementtimäärä. [4, s. 102.]

Jos betonissa havaitaan kloridikorroosiota, joudutaan yleensä tekemään varsin raskaita korjaustoimenpiteitä. Tästä syystä on aina hyvä selvittää betonin kloridipitoisuus, vaikka betonissa ei olisi merkkejä kloridikorroosiosta. Betonin kloridipitoisuus selvitetään jauhenäytteestä, joka otetaan tutkittavasta kohteesta poraamalla. Rakennuksista, jotka ovat lähellä merta kannattaa selvittää, johtuvatko kloridipitoisuusarvot valmistusvaiheesta vai meren tuomasta rasituksesta. [4, s. 102.]

6.3 Muut tutkimukset

Betonin laatua mitataan puristuslujuudella. Kuntotutkimuksessa ei yleensä käytetä tätä menetelmää, koska se ei anna vastauksia vaurioiden olemassaolosta tai etenemisestä. [4, s. 120.]

Betonin kosteuspuiteisuudella on merkittäviä vaikutuksia erilaisissa vaurioissa. Kosteusmittausta tehtäessä tulee olla hyvin selvillä mittaustuloksia tarkastellessa, koska säärasitus vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin vuodenajan mukaan. [4, s. 121.]

Täyhystyksessä tehdään rakenteeseen porareikä, jonka kautta voidaan tarkastella kiinnikkeiden kuntoa, jos muilla tavoin ei voida luotettavasti tarkastaa kiinnikkeiden kuntoa. [4, s. 121.]

Lämpökuvauksella selvitetään rakenteiden pintalämpötiloja. Kuvauksella saadaan myös selville kiinnityskohdat. Ilmavuotojen paikallistamiseen lämpökuvauksella soveltuu erinomaisesti. [4, s. 121.]

Julkisivujen elementtisaumojen tutkimuksessa saadaan selville ovatko elementtisaumat elastisia. Huonokuntoiset elementtisaumat ovat menettäneet elastisuutensa. Huonokuntoisissa elementtisaumat voivat olla epätiivittä. Tähän syynä voi olla sauman halkeaminen, tuuletusputken epätiivisyys ja sauman tikutuksessa tapahtuneet virheet. Kuvassa 21 on huonokuntoisia elementtisaumojen kuvia. [3, s. 30.]



Kuva 21. Huonokuntoisia elementtisaumoja [3, s30.]

7 BETONIRAKENTEIDEN LAASTIPAIKKAUKSET

Laastipaikkausta käytetään vähäisten paikallisten pintavaurioiden kunnostukseen. Laastipaikkauksessa vaurioitunut betoni poistetaan riittävän suurelta alueelta, jotta päästään selvittämään, onko raudoituksessa korroosiota tai vaaraa korroosion alkamiselle. Vaurioalue täytetään paikkauslaastilla ympäröivään betoniin. Laastipaikkaus soveltuu parhaiten alueisiin, joissa on vähäisesti korroosiota tai betonin rapaumaa, tai ulkopuolisesta syystä tulleita kolhuja. Laastipaikkattavan pinnan tulee olla sellainen, johon laastipaikkaus voidaan kohtuuhelposti tehdä. Pesubetonipinnoille laastipaikkaus voi olla ongelmallinen suorittaa [5, s. 37.]

Laastipaikkauksessa korjaustuotteiden valintaan vaikuttavat korjattavan rakenteen ominaisuudet ja rasitustaso. Korjaustuotteita valittaessa kiinnitetään huomiota lujuusluokkaan, pakkasenkestävyyteen, työstettävyyteen ja jälkihoitoon. Paikkauslaastiksi valitaan yleensä sellainen tuote, jonka lujuusluokka on alhaisempi kuin paikattavalla betonilla ja raekoon tulee olla mahdollisimman suuri. Laastipaikka valmistetaan useista eri aineista, kuten tartuntalaasti, korroosiosuoja-aine, paikkauslaasti, mahdollinen tasoituslaasti, mahdollisesti pinnoite. Tuotteita valittaessa pyritään aina käyttämään saman tuoteperheen aineita, jotta aineet sopivat yhteen keskenään. Tuotteita valittaessa valitaan aina CE-merkittyjä tuotteita. [5, s. 38.]

Betonointikorjauksia käytetään yleensä niissä tapauksissa, kun vauriot ovat muodostuneet niin suuriksi, ettei laastipaikkausta ole järkevää käyttää. Tähän vaikuttavat muun muassa taloudelliset syyt. Korjaukset voidaan tehdä muotittamalla, valubetonia käyttäen. Laajemmissa vauriokorjauksissa käytetään yleensä ruiskubetonia. [5, s. 44.]

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kirjallinen tutkimus betonirakenteiden vauriomekanismeista. Työstä on minulle jatkossa suurta hyötyä, koska työskentelen kiinteistöalalla Espoossa. Koska työkohteet ovat lähellä merta, säärasitukset ovat aina olennainen osa julkisivuissa tapahtuvia vaurioita.

Koska itse asun Helsingissä ja oppilaitos sijaitsee Kajaanissa, työn tekemisessä oli haasteita. Työn ohjaus tapahtui sähköpostin välityksellä. Sähköpostin kautta hoidettu keskustelu sujui hyvin. Koska olin päivisin normaalisti töissä, jouduin tekemään insinööritöitäni lähinnä viikonloppuisin. Tämä aiheutti myös omat haasteensa työn tekemiselle.

Työstä olisi saanut laajemman, jos tutkimuksia olisi laajennettu erilaisiin korjaustoimenpiteisiin. Saavutin kuitenkin työlle asetetut tavoitteet, ja sain uutta tietoa julkisivuissa tapahtuvista vauriomekanismeista. Työstä tulee olemaan minulle hyötyä tulevaisuudessa.

Lähteet

LÄHTEET

1. Miten betoni tuli Suomeen. [WWW-dokumentti] <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/miten-betoni-tuli-suomeen/>
2. Rakennustieto Oy, Kerrostalot 1880 – 2000. Tampere: Tammer-Paino Oy. 2006. Luettu 1.3.2020
3. Tiainen Matti, Kuntoarviot ja kuntotutkimukset osa 1: kuntotutkimukset, Luentomoniste. 2016. Luettu 2.3.2020
4. Suomen Betoniyhdistys ry, Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013 by 42. Multiprint Oy Vantaa 2013. Luettu 4.3.2020
5. Suomen Betoniyhdistys ry, Betonirakenteiden korjausohjeet 2016 by 41. Oy Fram Ab, Vaasa 2016. Luettu 8.3.2020
6. Tikkurilan uudet betonikorjausmenetelmät [WWW-dokumentti] https://www.tikkurila.fi/files/68095/Tikkurilan_uudet_betonikorjausjarjestelmat_7_11_2016.pdf
7. Betonirakenteiden kemialliset vauriot [WWW-dokumentti] <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/hannu-pyy-betonin-korjauskurssi-2019.pdf>
8. Betonirakenteiden fysikaaliset vauriot [WWW-dokumentti] http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/luento3.kolio_betonirakenteiden_fysikaaliset_vauriot_2019-03-19.pdf

