

Petri Heikkonen

Betonin karbonatisoitumisnopeuden arviointi julkisivu- ja parvekerakenteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Mestarityö

28.1.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Petri Heikkonen Betonin karbonatisoitumisnopeuden arviointi julkisivu- ja parvekerakenteissa. 45 sivua 28.1.2016
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto
Ohjaajat	Yrityksen ohjaaja: Tuuli Ranki RI (AMK) Metropolia AMK:n ohjaaja: Matti Leppä Laboratorioinsinööri
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä yrityksen omista, eri aikakauden kuntotutkimustuloksista toteuma- ja vertailutietoa karbonatisoitumisrintaman etenemisen arvioinnin tueksi.</p> <p>Teräsbetonirakenteiden käyttöikäarviointiin merkittävimmin vaikuttavat vaurioitumismekanismit ovat teräskorroosio ja pakkasrapautuma. Korroosion merkittävin aiheuttaja on teräksiä ympäröivän betonin karbonatisoituminen ja sen myötä tapahtuva betonin suojaominaisuuksien menettäminen. Yrityksessä betonirakenteiden käyttöikäarviointi pohjautuu teräskorroosion osalta By 42 2013 ohjeiden mukaan toteutettaviin laaja-alaisiin kenttä- ja laboratoriotutkimuksiin sekä ajan neliöjuuren avulla laskettavaan karbonatisoitumisen etenemisnopeuteen.</p> <p>Tutkimuksessa tarkasteltiin 21 asuinkerrostalon julkisivujen ja parvekkeiden seurantakuntotutkimusraporttien tuloksia. Karbonatisoitumisesta, suojabetonipaksuuksista ja teräskorroosiosta kirjattuja havaintoja ja mittaustuloksia vertailtiin kohdekohtaisesti samojen kohteiden aikaisempiin havaintoihin sekä laskennallisiin karbonatisoitumisarvioihin.</p> <p>Tutkimuksen rajaus huomioiden, voidaan suuntaa antavasti todeta karbonatisoitumisen etenevän hitaammin kuin laskennallisesti arvioituna. Karbonatisoitumisen kannalta mm. betonielementtien valmistustekniikka, betonin lujuus, käytetyn sementin määrä, pintastruktuuri ja vallitsevat kosteusolosuhteet ovat merkittävässä roolissa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että pelkästään karbonatisoitumisen tutkimiseksi tulisi otannan olla laajempi, aikajänne tutkimusten välillä pidempi ja näytteet ottaa vierekkäisinä vertaisnäytteinä.</p>	
Avainsanat	Betoni, karbonatisoituminen, julkisivu, parveke, kuntotutkimus

Author Title Number of Pages Date	Petri Heikkonen Evaluation of Concrete Carbonation Speed in Facade and Balcony Structures 45 pages 28 January 2016
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	House Building
Instructor(s)	Tuuli Ranki, Construction Engineer Matti Leppä, Laboratory Engineer
<p>This thesis was made for Lauri Mehto Oy. The aim of this thesis was to examine the company's field and laboratory research results from different eras to support the estimated carbonization speed.</p> <p>The foremost damage mechanisms of concrete structure are reinforcement corrosion and frost damage. The most significant cause for corrosion is carbonization of concrete surrounding the reinforcement. This causes the loss of protective properties of the concrete. In terms of reinforcement corrosion, the life cycle estimation of a concrete structure is based on field and laboratory research done in accordance with guideline BY 42 2013. The estimation is also based on calculations of the carbonization speed.</p> <p>The study included façade and balcony research results of 21 concrete residential buildings. Carbonization, concrete cover thickness and reinforcement corrosion research results were compared with the previous results of the buildings. Results were also compared with calculations of the carbonization speed.</p> <p>The study indicated that carbonization speed was slower than calculated. The manufacturing technique, strength of concrete, amount of cements used, surface structure and humidity conditions affect carbonization significantly. The study also showed that to get more comparable results, carbonization research sampling should be wider, timeline longer and research samples should be taken closer to each other.</p>	
Keywords	Concrete, facade, balcony, condition survey

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Julkisivurakenteiden kehitystä ohjanneet betoninormit	3
2.1	Betoninormien tausta	3
2.2	Julkisivubetonin lujuusvaatimus	3
2.3	Raudoitteiden suojabetonipeitteiden paksuudet	4
2.4	Julkisivubetonin pakkasenkestävyys	5
2.5	Betonielementtien kiinnikkeet	5
2.6	Kloridi	6
2.7	Betonirakenteiden rasitusluokat	6
3	Betonijulkisivu- ja parvekerakenteita	7
3.1	Yleistä	7
3.1.1	Sandwich-elementti	7
3.1.2	Kuorielementit	8
3.2	Parvekerakenteet	8
3.2.1	Yleistä	8
3.2.2	Ulokeparvekkeet	9
3.2.3	Elementtiparvekkeet	9
3.2.4	Pielielementit ja pilarit	9
3.2.5	Kaide-elementit	10
4	Julkisivu- ja parvekerakenteiden yleisimmät vauriot	10
4.1	Kosteuden vaikutus julkisivu- ja parvekerakenteissa	10
4.2	Betonin pakkasrapautuminen	10
4.2.1	Alkalikiviainesreaktio	11
4.2.2	Ettringiittireaktio	11
4.3	Terästen korroosio	11
4.3.1	Betonin karbonatisoitumisen vaikutus korroosion kehitykseen	12
4.3.2	Betonin kloridipitoisuuden vaikutus korroosion kehitykseen	13
5	Seurantakuntotutkimukset ja tutkimusotanta	13
5.1	Yleistä	13
5.2	Kuntotutkimusmenetelmät	14

5.2.1	Tutkittavan kohteen lähtötietojen selvittäminen	14
5.2.2	Kenttätutkimusajankohta ja nostinkalusto	14
5.2.3	Näytteiden otto ja mittaukset	14
5.2.4	Rakenteiden silmämääräinen tarkastelu	15
5.3	Laboratoriotutkimukset	15
5.3.1	Näytteiden silmämääräinen tarkastelu	15
5.3.2	Betonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen	16
5.3.3	Näytteiden huokoisuusarvojen määrittäminen	16
5.3.4	Näytelieriöiden vetolujuuden määrittäminen	16
5.3.5	Betonin mikrorakennetutkimus eli ohuthietutkimus	17
6	Kohteiden kuvaus	18
6.1	Kohde 1, Espoo	18
6.1.1	Julkisivut	18
6.1.2	Parvekkeet	18
6.1.3	Parvekkeiden vedenpoisto	18
6.1.4	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	19
6.1.5	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	19
6.2	Kohde 2, Helsinki	19
6.2.1	Julkisivut	19
6.2.2	Parvekkeet	19
6.2.3	Parvekkeiden vedenpoisto	20
6.2.4	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	20
6.2.5	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	20
6.3	Kohde 3, Hämeenlinna	20
6.3.1	Julkisivut	20
6.3.2	Alkuperäiset parvekkeet	21
6.3.3	Alkuperäisten parvekkeiden vedenpoisto	21
6.3.4	Uudet parvekkeet	21
6.3.5	Uusien parvekkeiden vedenpoisto	21
6.3.6	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	21
6.3.7	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	22
6.4	Kohde 4, Vantaa	22
6.4.1	Julkisivut	22
6.4.2	Parvekkeet	22
6.4.3	Parvekkeiden vedenpoisto	22
6.4.4	Luhtikäytävät	23
6.4.5	Luhtikäytävien vedenpoisto	23
6.4.6	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	23

6.4.7	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	23
6.5	Kohde 5, Kerava	24
6.5.1	Julkisivut	24
6.5.2	Parvekkeet	24
6.5.3	Parvekkeiden vedenpoisto	24
6.5.4	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	24
6.5.5	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	25
6.6	Kohde 6, Pori	25
6.6.1	Julkisivut	25
6.6.2	Parvekkeet	25
6.6.3	Parvekkeiden vedenpoisto	25
6.6.4	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	25
6.6.5	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	26
6.7	Kohde 7, Järvenpää	26
6.7.1	Parvekkeet	26
6.7.2	Parvekkeiden vedenpoisto	26
6.7.3	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	26
6.7.4	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	27
6.8	Kohde 8, Oulu	27
6.8.1	Julkisivut	27
6.8.2	Parvekkeet	27
6.8.3	Parvekkeiden vedenpoisto	27
6.8.4	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	27
6.8.5	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	28
6.9	Kohde 9, Pori	28
6.9.1	Julkisivut	28
6.9.2	Parvekkeet	28
6.9.3	Parvekkeiden vedenpoisto	28
6.9.4	Luhtikäytävät	29
6.9.5	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	29
6.9.6	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	29
6.10	Kohde 10, Järvenpää	29
6.10.1	Julkisivut	30
6.10.2	Alkuperäiset parvekkeet	30
6.10.3	Alkuperäisten parvekkeiden vedenpoisto	30
6.10.4	Uudet parvekkeet	30
6.10.5	Uusien parvekkeiden vedenpoisto	30
6.10.6	Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset	31
6.10.7	Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet	31

7	Karbonatisoitumissyvyyksien vertailu	31
7.1	Vertailun rajaus	31
7.2	Karbonatisoitumissyvyyksien vertailu kohteittain	32
7.2.1	Kohde 1, Espoo	32
7.2.2	Kohde 2, Helsinki	32
7.2.3	Kohde 3, Hämeenlinna	33
7.2.4	Kohde 4, Vantaa	33
7.2.5	Kohde 5, Kerava	34
7.2.6	Kohde 6, Pori	34
7.2.7	Kohde 7, Järvenpää	35
7.2.8	Kohde 8, Oulu	35
7.2.9	Kohde 9, Pori	36
7.2.10	Kohde 10, Järvenpää	36
8	Johtopäätökset	37
8.1	Johtopäätökset karbonatisoitumis- ja korroosiotilanteesta	37
8.1.1	Kohde 1, Espoo	37
8.1.2	Kohde 2, Helsinki	37
8.1.3	Kohde 3, Hämeenlinna	38
8.1.4	Kohde 4, Vantaa	39
8.1.5	Kohde 5, Kerava	39
8.1.6	Kohde 6, Pori	40
8.1.7	Kohde 7, Järvenpää	40
8.1.8	Kohde 8, Oulu	41
8.1.9	Kohde 9, Pori	41
8.1.10	Kohde 10, Järvenpää	42
8.2	Johtopäätökset karbonatisoitumissyvyyksien vertailusta	42
8.3	Johtopäätökset muiden tekijöiden vaikutuksesta karbonatisoitumiseen	43
9	Yhteenveto	44
	Lähteet	45

Lyhenteet

By Suomen Betoniyhdistys ry

TTY Tampereen Teknillinen Yliopisto

1 Johdanto

Suomalainen betonirakenteiden kuntotutkimusmenettely ja sen hyödyntäminen korjaustapojen, korjaustuotteiden ja rakennuttamismenettelyn osalta ovat maailmanlaajuisestikin ainutlaatuisia [1, s. 9]. Betonirakenteisten julkisivu- ja parvekerakenteiden kuntotutkimuksen kehityksen kannalta merkittävänä suunnannäyttäjänä voidaan pitää Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisemia kuntotutkimusohjeita. Ensimmäinen ”Betonijulkisivun kuntotutkimus BY 42” julkaistiin vuonna 1997. [2, s. 10.] Käyttökokemusten pohjalta ohjeita päivitettiin mm. tutkimusmenetelmien tarkkuuden ja haitta-aineiden huomioimisen osalta vuonna 2002. Vuonna 2013 julkaistujen viimeisimpien ohjeiden keskeisiä uudistuksia olivat mm. kuntotutkijan ohjeistus näyttöiden ja muiden tutkimusten määrissä sekä sijainneissa eri julkisivurakenteissa. [2, s. 3.]

Betonirakennuksen hallittuun kiinteistönpitoon kuuluu suunnitelmallinen rakenteiden kunnon seuraaminen [9, s. 5]. Aistinvaraisilla kuntoarvioilla voidaan yleensä todeta rakenteiden pinnoilta vain näkyviä vaurioita. Lähtökohtaisesti vauriokehitys on usein edennyt jo pitkälle, ennen kuin se on silmämääräisesti havaittavissa. [9, s. 6.] Perusteellisen kuntotutkimuksen avulla saavutettu oikea korjaustapavalinta voi lykätä suuria korjausinvestointeja huomattavasti. [9, s. 6.] Suositeltavaa on teettää perusteellinen kuntotutkimus ajoissa, asiantuntevasti sekä tarkoituksen mukaiseksi suunniteltuna ja kohdennettuna. Kuntotutkimus tulee teettää myös siinä laajuudessa, että vaurioherkät rakennusosat sekä niihin liittyvät rakenteet tulee kattavasti tutkittua. Vain riittävän laajojen tutkimustulosten pohjalta voidaan laatia todellisen vauriotilanteen mukainen korjausehdotus, kustannusarvio, korjatun rakenteen elinikäennuste sekä arvio seuraavan kuntotutkimuksen ajankohdasta. [2, s. 8–9.]

Betonirakenteissa on useita tekijöitä, joille suunnitteluvaiheessa annetaan vakioidut arvot. Terveessä betonirakenteessa niiden olemassaolo, sijainti, materiaaliominaisuudet ym. pysyvät pääsääntöisesti vakioina. Kyseisiä tekijöitä ovat esimerkiksi betoniterästen peitepaksuudet, betonin tiivistyneisyys, runkoaineen koostumus, suojuhuokosten koko ja jakautuminen. Perusteellisessa kuntotutkimuksessa kyseiset yksityiskohdat dokumentoidaan, jolloin tietoja ei tarvitse enää kaikilta osin selvittää tulevissa tutkimuksissa.

Perusteellisen kuntotutkimuksen jälkeisiä, usein sisällöltään suppeampia tutkimuksia kutsutaan tässä opinnäytetyössä seurantakuntotutkimuksiksi. Näiden tutkimusten avulla nimensä mukaisesti seurataan betonirakenteiden sen hetkistä kuntoa, vaurioiden kehittymistä, tehtyjen korjausten toimivuutta ja arvioidaan edelleen jatkotoimenpiteitä. Kuten perusteellisessakin kuntotutkimuksessa, myös seurantakuntotutkimuksessa huomioidaan betonirakenteisiin liittyvät muut rakennusosat. Erityisesti kosteusteknisen toimivuuden kannalta tärkeät elementtisaumat, vesikatto, parvekekatot, vedenoistoreitit, räystäät, vesipellit ym. liitosdetaljit tulee tarkistaa huolellisesti.

Tähän opinnäytetyöhön valittiin tarkasteltavaksi Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n vuosina 2014–2015 suorittamien julkisivujen ja parvekkeiden seurantakuntotutkimusten joukosta 21 asuinkerrostalon karbonatisoitumistulokset. Tuloksia vertaillaan samoille kohteille vuosina 2002–2008 tehtyjen kuntotutkimustulosten vastaaviin arvoihin. Tutkimusotannan asuinkerrostaloista kaksitoista on rakennettu 1970-luvulla, kuusi 1980-luvulla ja kolme 1990-luvulla.

Karbonatisoitumistuloksia vertailemalla on tarkoitus tuottaa yrityksen omiin kuntotutkimuksiin perustuvaa toteumatietoa karbonatisoitumisnopeudesta. Saavutettuja toteumatietoja on tarkoitus hyödyntää lisämateriaalina korjaussuosituksen valinnassa, jossa karbonatisoitumisnopeuden arvioimiseen käytetään laaja-alaisten kenttätutkimushavaintojen ja kokemuspohjaisen tiedon lisäksi myös ajan neliöjuureen perustuvaa mallia. Parhaassa tapauksessa myös toteumatietoa hyödyntävä karbonatisoitumisarvio antaa täsmällisempää tietoa tutkimusraportin kirjoittavalle kuntotutkijalle, sekä jatkossa myös rakenne- ja korjaussuunnittelijalle.

2 Julkisivurakenteiden kehitystä ohjanneet betoninormit

2.1 Betoninormien tausta

Helsingissä kokoontui jo ennen ensimmäistä maailmansotaa nk. betoniklubi, joka todennäköisesti kokoontui tarkoituksenaan laatia ohjeet betonin ja rautabetonin käytöstä. Näin ilmeisesti kävikin, sillä vuonna 1913 Helsingin kaupungin määräyksinä julkaistiin ensimmäiset betoninormeihin rinnastettavat ohjeet. Vuonna 1925 perustettiin Suomen Betoniyhdistys ry, jolle betonialan normien laatiminen oli alusta alkaen toiminnan tärkein tavoite. Kovan työn tuloksena syntyivät ensimmäiset kansalliset betonirakentamista ohjaavat normit, jotka valtioneuvosto vahvisti huhtikuussa 1929. Sotavuosien jälkeen 1946 julkaistuissa normeissa suunnittelijoilta, työnjohdolta ja valvojilta edellytettiin A- ja B-luokan betonitoissa kurssiluontoisesti suoritettua pätevyyttä. Vuoden 1954 betoninormeissa teräsbetoni sai lujuusluokitukset ja betonin vähimmäislujuudeksi tuli K20. 1970-luvulle asti yhdistys laati normit omissa nimissään ja ne julkaistiin Rakennusinsinööriyhdistyksen (RIL) toimesta. [4.]

1.7.2013 lähtien suuri osa Euroopan maista siirtyi betonirakenteiden suunnittelussa Eurocode-standardin käyttöön. Jokaiseen euronormiin on liitetty kansalliset parametrit määrittävä NA-liite. Järjestelmän myötä jokaisessa Euroopan maassa tulee mm. betonirakenteiden suunnittelu toteuttaa kansallisten parametrien mukaisesti. [10, s. 8.] Rakenteiden suunnittelu eurokoodeilla tuli ensimmäisen kerran Suomessa mahdolliseksi marraskuussa 2007 kun ympäristöministeriö vahvisti asetuksellaan ensimmäiset eurokoodien kansalliset liitteet. [11, s. 68.]

2.2 Julkisivubetonin lujuusvaatimus

1954 julkaistuissa betoninormeissa teräsbetonin vähimmäislujuusvaatimukseksi määritettiin K20. Tämä riitti julkisivubetoninkin lujuusluokaksi uusien normien julkaisuvuoteen 1965 asti, jolloin lujuusluokka korotettiin K25:een. Vasta vuonna 1989 julkaistuissa Betoniyhdistyksen säilyvyysohjeessa julkisivubetonin lujuudeksi määritettiin K35 ja vuonna 1992 julkaistussa säilyvyysohjeessa lujuus korotettiin K 45:een. Lujuusluokkaa saattoi pienentää terästen betonipeitepaksuutta lisäämällä. Betoninormeissa 1993 julkisivubetonin minimilujuusluokaksi määritettiin K40, samoin vuoden 2001 betoninor-

meissa. Terästen betonipeitepaksuutta lisäämällä saatettiin lujuusvaatimusta laskea esim. luokkaan K35. [2, s. 12.]

Eurokoodeissa betonin lujuusluokka esitetään eurooppalaista C-lujuusluokkaa käyttäen, esim. C35 / 40 – 2, eli lieriölujuus / kuutiolujuus -rakenneluokka. Perinteinen K-lujuusluokka kuten K35 – 2, eli kuutiolujuus-rakenneluokka poistui vasta eurokoodin käyttöönoton yhteydessä 1.7.2013. Sitä käytettiin siirtymäaikana yhdessä EN 206 – 1 betonistandardin kanssa, sillä kansallisessa liitteessä suositeltiin pysymään vielä K-lujuusluokituksessa. [11, s. 68.]

Vähimmäis lujuusluokka SFS EN 206-1 / NA-FI	Rasitusluokka								
	X0	XC1	XC2	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3	
			XC3						XS2
									XS3
	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/40	C30/37	C35/40	

Kuva 1. Betonille asetetut vähimmäislujuusluokat eri rasitusluokissa SFS-EN 206-1/NA-FI mukaisesti. [10, s. 63.]

2.3 Raudoitteiden suojabetonipeitteiden paksuudet

Raudoitteiden suojabetonipeitteeksi määritettiin vuoden 1954 normeissa 20 mm, 1963 normeissa todettiin, että vaatimus koskee vain kantavia rakenneosia, näin ollen sandwich-elementtien ulkokuorelle riitti normin mukainen minimivaatimus 10 mm. Vuoden 1965 betoninormeissa raudoitteiden minimipeitteeksi annettiin 20 mm ja sileän pyöröteräksen minimiarvoksi 15 mm. Betoninormeissa 1980 betonipeitepaksuuden perusarvoksi tuli 25 mm määräytyen kuitenkin erikseen luokiteltujen ympäristöolosuhteiden mukaan, laskennassa voitiin käyttää ns. korjausarvoa myös negatiiviseen suuntaan. Betoninormeissa 1993 perusarvo 25 mm säilyi ennallaan, mutta korjausarvot lasketaan vain positiiviseen suuntaan. Betoninormeissa 2000 peitepaksuuksien perusarvot ovat ympäristöluokasta riippuen Y1 35 mm ja Y2 25 mm. [2 s. 12.] Ruostumattomien raudoitteiden käyttö koko ulkokuoren raudoitteena on yleistynyt 1990-luvun lopun jälkeen [2, s. 15].

Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $C_{min,dur}$ (mm)								
Kriteeri	Rasitusluokka							
	X0	XC1	XC2	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3
			XC3					XS2
								XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunnittelukäyttöikä	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Lujuusluokka	C12/15 -5	C20/25 -5	C25/30 -5	C30/37 -5	C30/37 -5	C35/40 -5	C30/37 -5	C35/40 -5

Kuva 2. Rasitusluokkien mukaiset perusarvot raudoituksen peitepaksuuksille. [10, s. 64.]

2.4 Julkisivubetonin pakkasenkestävyys

Ensimmäisen kerran pakkasenkestävyysvaatimus esitettiin betoninormeissa vuonna 1980, mainintoja pakkasenkestävyyden parantamisesta on kuitenkin vuoden 1965 normien selityksissä ja 1977 betoninormeissa viitataan huokosrakenteen vaikutuksesta pakkasenkestävyyteen. Betoniyhdistyksen 1976 julkaisemien säilyvyysohjeiden myötä betonimassan lisähuokostusainetta alettiin järjestelmällisesti käyttää, suojahuokossuhdeksi arvoiksi annettiin minimissään 0,15 ja vaativissa olosuhteissa 0,20. Betoninormeissa vuodelta 2000 huomioidaan ympäristöolosuhteiden vaikutus ja minimiarvo normaaliolosuhteissa Y2 on 0,20 ja vaativissa olosuhteissa Y1 0,25. [2, s. 12.]

Vuoden 2004 betoninormeissa suojahuokossuhdevaatimus jätettiin pois. Nykyään pakkasenkestävyydelle käytetään mm. erilaisia huokosjako- ja jäädytys-sulatuskoevaatimuksia, jotka määräytyvät suunnitellun käyttöiän ja rasitusluokan mukaan. Huokosjako määritetään mikroskoopilla pinta- tai ohuthieistä, jäädytys-sulatuskoe tehdään koeprismoille. [5, s. 231–240.]

2.5 Betonielementtien kiinnikkeet

Korroosiolle alttiit kiinnikkeet on vuoden 1965 betoninormeista lähtien määritetty tehtäväksi korroosionkestävästä materiaalista. Säilyvyysohjeessa vuodelta 1992 edellytetään myös ulommat ansaspaarteet tehtäväksi korroosion kestävästä materiaalista. [2, s. 13.]

2.6 Kloridi

Betonin lujuuskehityksen vauhdittamiseksi saatettiin betoniin lisätä aikoinaan kloridia. Betoninormien selityksissä vuodelta 1965 kalsiumkloridin maksimipitoisuus sai olla 2 % sementin painosta. Säilyvyysohjeen 1992 mukaan julkisivuissa käytettävän betonin maksimi kloridipitoisuus saa olla enintään 0,2 % sementin painosta. [2, s. 13.]

2.7 Betonirakenteiden rasitusluokat

Betoninormeissa 2004 esiteltiin betonirakenteiden eri vauriomekanismit huomioivat rasitusluokat. Suunnittelussa betonirakenteeseen kohdistuvat ulkopuoliset rasitustekijät on huomioitava käytettävän betonilaadun valinnassa. Rasitusluokkavaatimukset uudistettiin ja tarkistettiin 2012 normeissa. Julkisivu- ja parvekerakenteet asettuvat yleensä rasitusluokkien XC ja XF vaativimmalle tasolle säärasitusten vaihtelevuuden johdosta. [2, s. 13.]

Luokka	Kuvaus
Ei korroosiovaaraa tai rasituksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korroosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

Kuva 3. Betonirakenteiden rasitusluokat. [12, s. 4.]

3 Betonijulkisivu- ja parvekerakenteita

3.1 Yleistä

Betonielementtitalojen ulkoseinien tyypillisin rakenne on 1960-luvulla kehitetty sandwich-elementti. Perustyyppiltään julkisivujen elementtirakenteet ovat pysyneet rakentamisen tuotekehityksestä huolimatta miltei muuttumattomina, sandwich-rakenteisina kompakteina täyselementteinä tai hieman vähemmän käytettyinä kuorielementteinä. [6.]

3.1.1 Sandwich-elementti

Sandwich-elementin rakenne koostuu kantavasta tai ei kantavasta sisäkuoresta, eristekerroksesta ja ulkokuoresta. Ulkokuori kiinnittyy sisäkuoreen eristeen läpi viedyillä metallisilla ansailla jotka elementin valmistustekniikasta johtuen kiinnittyvät jo valuvaiheessa kumpaankin kuoreen. Raudoituksena sandwich-elementeissä oli tyypillisesti keskeinen verkko, ulkoreunoja ja aukkoja kiersi lisäksi pieliteräkset, kiinnitysansaiden tartunta varmistettiin lisäksi parreteräksin. [1, s. 11.]

Kantavia sandwich-elementtejä käytettiin tyypillisesti rakennusten päädyissä, ei kantavia elementtejä rakennuksen pitkillä sivuilla ns. ruutuelementteinä. Sandwich-elementtien rakenteiden nimellispaksuudet ovat yleisesti vaihdelleet huomattavasti, syynä ovat yleensä olleet erilaiset työvirheet, materiaalivaihtelut ja eristeen kokoonpuristuminen valmistusvaiheessa. Kantavan sandwich-elementin sisäkuorien nimellispaksuus on ollut luokkaa 150 mm, ulkokuorissa paksuus on vaihdellut välillä 40–80 mm. [1, s. 11.]

Lämmöneristeenä käytettiin yleisimmin lasi- tai mineraalivillaa, eristepaksuuden vaihdellessa kulloinkin voimassa olleiden rakennusmääräysten mukaisesti välillä 70–150 mm. Lämmöneriste jäi tyypillisesti täysin tuulettumattomaksi, urittamalla lämmöneriste ulkopinnasta, pyrittiin eristetila tuulettamaan, joskaan tuuletuksen toimivuutta ei aina pystytty varmistamaan. [1, s. 11–12.]

3.1.2 Kuorielementit

Kuorielementti muodostuu yhtenäisestä betonilevystä, paksuudeltaan elementit ovat luokkaa 70 – 130 mm. Kuorielementtien kiinnitystapoja on useita, joko rakennuksen kantavan runkovalun yhteydessä tai jälkikiinnityksenä. Kiinnitysmateriaali on yleensä ollut ruostumaton teräs, aivan alkuvuosina kiinnikkeinä saatettiin käyttää muitakin materiaaleja. [2, s.14.]

Kuorielementtejä on käytetty ulkoseinäverhouksena erilaisten paikalla valettujen runkojen, väestönsuojien, ullakkotilojen sekä kantavien rakennusosien yhteydessä [6].

Kuorielementtejä käytetään yleisesti myös kellarillisten rakennusten sokkelielementteinä, koska näkyvää ulkokuorta ei ole järkevää viedä yhtenäisenä perustuksille asti. Vesieristysten sijainti tulee ratkaisussa oikeaan paikkaan, kantavan kuoren ulkopintaan. [7.]

Eristeenä kuorielementeissä on käytetty korkkilevyä, lastuvillaa, kevytsorabetonia ja mineraalivillaa. Asennustavasta riippuen kuorielementin ja eristeen väliin on mahdollista jättää tuuletusrako. [2, s. 14.]

3.2 Parvekerakenteet

3.2.1 Yleistä

Betonista valmistettujen parvekkeiden yleisin toteutustapa on omilla perustuksillaan seisova rakennuksen ulkopuolinen parveketorni, tämä parvekerakenne on ollut käytössä 1960-luvun lopulta alkaen. Parveketornit tuetaan kaatumisen estämiseksi rakennuksen runkoon joko pieliseinistä tai parvekelaatasta parvekesaranoin, lattateräslitoksien tai harjateräsratkaisuiden avulla. Tuennassa on käytetty jonkin verran kuumasinkittyjä teräsosia ja ruostumatonta terästä, mutta yleisimmin tuetaan käytetty seostamaton teräs suojattiin eristetilassa betonoinnilla. [1, s. 12–13.]

Muita betoniparveketyyppisiä ovat ulokeparvekkeet, rakennuksen rungosta eri tavoin ripustetut konttiparvekkeet sekä erilaiset paikallavalun ja betonielementtiosien seka muodot [1, s. 12].

3.2.2 Ulokeparvekkeet

Ulokeparvekkeita käytetään yleensä rakennuksissa, joissa rakennuksen kantava runko tehdään paikallavaluna, tällöin ulokeparvekkeen tukirauhoitukset, esim. ratakskot voidaan valun yhteydessä ulottaa eristeen läpi runkoon tai paikalla valettuun välipohjalaataan. Ulokeparveke voi olla tyypiltään julkisivusta ulkoneva tai sisäänvedetty. Parveke-laatassa voi olla myös vesieristys, jonka päälle on valettu ohuempi pintalaatta. Kaiderakenteet ovat yleensä terästä tai betonia. [2, s. 16.]

3.2.3 Elementtiparvekkeet

Elementtiparvekkeita on toteutettu ja tuettu usealla eri tavalla. Sisäänvedettynä parvekelaatta on voitu tukea kantaviin väliseiniin elementin päissä olevilla lyhyillä ratakskoilla tai teräsprofiileilla. Väliseinärakenne voi olla paikalla valettu, kuorielementti- tai täys-elementtirakenteinen. Sisäänvedetty elementtirakenteinen tuuletusparveke voi olla kannateltu myös ulottamalla teräsprofiilit eristetilän läpi porrashuoneen laattaan. [2, s. 16.]

Rakennuksen rungosta ulkoneva elementtiparveke tuetaan pääasiassa pieliseinien, pilarien tai julkisivun kantavan ulkokuoren kautta perustuksille. Parvekelaatta tuetaan ja kiinnitetään pieliseiniin tappiliitoksien, pulttiliitoksien, harjaterästartunnoin tai hitsaamalla. Liitossaumat on täytetty notkealla betonimassalla tai laastilla. Elementtiparvekkeiden laatoissa on harvoin käytetty erillistä vedeneristystä. Laatan on valmistettu ylösalaisin muotissa, jonka pohjamuotoilussa on huomioitu tarvittavat kallistukset. Parvekelaatan vedenpoisto on järjestetty suoraan laatan reunalta, ulosheittoputken avulla tai syöksytorviin johtamalla. [2, s. 17.]

3.2.4 Pielielementit ja pilarit

Pielielementit ovat yleensä noin 150 – 180 mm paksuja betonilevyjä, jotka toimivat parveketornien kantavana rakenteena, siirtäen pystykuormat parvekeperustuksille. Pielielementtien raudoituksena on yleensä vain rakenteen ulkoreunoja kiertävät rengasterätket. [1, s. 14.]

Pilarit ovat myös pielielementtejä, vaikkakin poikkileikkaukseltaan huomattavasti pienempiä, yleisesti 180 x 180 mm² ja siitä ylöspäin [1, s. 14].

3.2.5 Kaide-elementit

Betonirakenteinen kaide-elementti on paksuudeltaan yleensä noin 60 – 100 mm ja rakenne voi olla samaa betonivalua elementtilaatan kanssa. Parvekekaide on voitu kiinnittää myös pieliementteihin, jolloin laatan vedenpoisto tapahtuu yleensä laatan etureunasta. Kaide-elementissä rauditus sijaitsee rakenteen hoikkuudesta huolimatta yleensä molemmissa pinnoissa. [1, s. 14.]

4 Julkisivu- ja parvekerakenteiden yleisimmät vauriot

4.1 Kosteuden vaikutus julkisivu- ja parvekerakenteissa

Julkisivu- ja parvekerakenteiden vaurioitumisilmiöiden merkittävin aiheuttaja on kosteus eri olomuodoissaan. Rakennuksen käytön aikaiset kosteusrasitukset ovat vaurioitumisen kannalta kaikkein merkittävimpiä. Viistosade, ulkoilman kosteus ja lämpötilaeroista aiheutuva ilman tiivistyminen rakenteiden pinnoille ovat merkittävimmät huomioon otettavat rasitustekijät. Muita huomionarvoisia kosteuslähteitä ovat maaperästä nouseva kosteus, sisäilman kosteuden siirtyminen vuotoilman mukana rakenteisiin sekä erityyppiset vuotovedet sadevesijärjestelmästä tai rakennuksen sisältä. [2, s. 18.]

4.2 Betonin pakkasrapautuminen

Suomen vaihtelevissa olosuhteissa merkittävin rapautumisilmiö on pakkasrapautuminen. Betonirakenteeseen imeytyneen veden jäätymislaajeneminen nostaa painetta betonin sisäisessä huokosverkostossa ja betoniin alkaa ilmaantua pieniä halkeamia. Paine ja halkeama kasvavat entisestään lämpötilan jälleen noustessa, koska jääkiteen tilavuus kasvaa. Syntynyt halkeama helpottaa entisestään kosteuden imeytymistä ja heikentää betonin lujuutta, joten joka kerta toistuessaan betonin lujuus heikkenee kiihtyvällä vauhdilla. Rapautuneen betonin veto- ja puristuslujuus sekä raudituksen tartunta heikkenee, jolloin rakenteiden kantavuus ja turvallisuustekijät on selvitettävä huolellisesti. Alkuvaiheessa rapautuminen ei ole silmin havaittavaa, joten ongelman selvittäminen ja rasitustason alentaminen hyvissä ajoin on tärkeää. [3, s. 27.]

4.2.1 Alkalikiviainesreaktio

Riittävän korkeassa kosteusrasituksessa sementtikiven alkalisuudesta aiheutuva, heikosti alkaleja kestävien kivilajien tilavuuden kasvu saattaa aiheuttaa betonin sisäistä halkeilua eli rapautumista. Alkalikiviainesreaktio on suomalaisten kivilajien hyvän alkalikestävyyden vuoksi melko harvinainen ilmiö. Kotimainen puhdas luonnonsora on aikojen saatossa hyvin sekoittunutta ja alkaleja heikosti kestäviä mineraaleja on suhteellisen vähän. Paikallisesti louhitun ja sattumalta alkaleja heikosti kestävän murskeen, tai ulkomaisen kiviaineksen käytön lisääntyminen betonin valmistuksessa saattaa lisätä alkalikiviainesreaktion riskiä. [2, s. 35.]

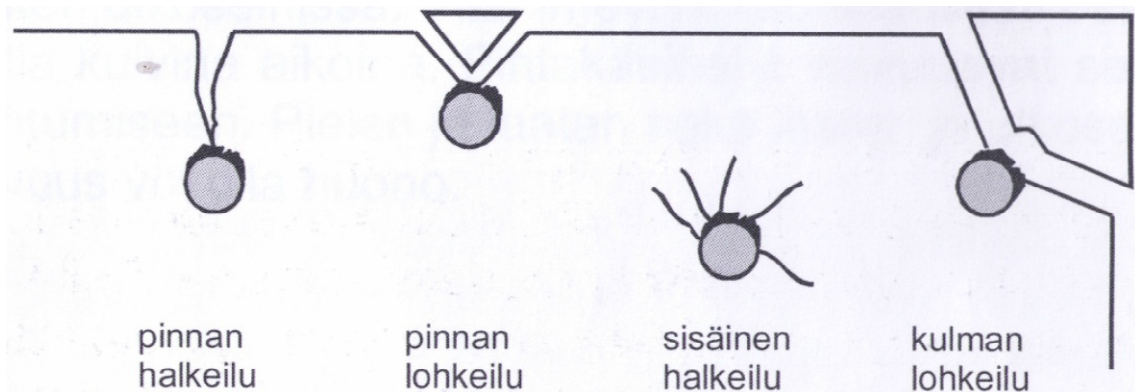
4.2.2 Ettringiittireaktio

Betonin valmistuksessa käytetään Suomessa ylivoimaisesti eniten Portlandklinkkeristä ja käyttötarkoituksen mukaan valituilla lisäaineilla muokattuja sementtilajeja [8, s. 42–43]. Ettringiittimineraali on Portlandsementin tärkeä hydrataatiotuote, joka vaikuttaa alkuvaiheessa betonin lujuuskehitykseen ja jatkossa betonin stabiilisuuteen. Runsaassa kosteusrasituksessa kovettuneessa sementtikivessä tapahtuvaa sulfaattimineraalien reaktiotuotteiden voimakasta tilavuuden kasvua kutsutaan ettringiittireaktioksi. Ettringiittireaktion laukaisee tyypillisesti betonin liiallinen lämpökäsittely kovettumisvaiheessa, jolloin sementin kovettumisreaktiossa tapahtuu häiriöitä. Reaktion seurauksena syntyvä ettringiittimineraali kiteytyy suojahuokosiin, jolloin huokosen tilavuus pienenee. Suojahuokosten täyttymisen myötä ettringiittireaktio saattaa aiheuttaa betonin rapautumista, joko pakkasrasituksessa tai pelkästään reaktiotuotteiden huokosiin aiheuttaman paineen seurauksena. [2, s. 33–34.]

4.3 Terästen korrosio

Betonin korkean alkalisuuden ansiosta raudoitteiden pinnalle syntyy oksidikalvo, joka suojaaa teräksiä sähkökemialliselta korroosiolta. Betonin korroosiolta suojaava vaikutus ja teräksiä suojaava oksidikalvo menetetään pääasiassa kahden tekijän seurauksena, betoni karbonatisoituu teräkseen asti, tai terästä ympäröivässä betonissa esiintyy klorideja. [2, s. 20.]

Riittävän paksun ja tiiviin suojabetonikerroksen ympäröivät raudoitteet ovat yleensä hyvin suojattuna korroosiolta sekä muilta raudoitteille turmiollisilta tekijöiltä kuten hapot ja kloridit. Käytetyn betonin laadulla, suojabetonipaksuudella ja ympäristöolosuhteilla on huomattava merkitys korroosion käynnistymisvaiheen pituuteen. Kun terästen oksidikalvo menetetään, alkaa varsinainen korroosio, jonka seurauksena rakenne aikanaan menettää kelpoisuutensa, tätä aikaa kutsutaan aktiiviseksi korroosioksi. Kosteusolosuhteilla on merkittävä vaikutus sekä korroosion etenemiseen että karbonatisoitumisen nopeuteen. [2, s. 20–21.]



Kuva 4. Tyypillisiä korroosion aiheuttamia vaurioita teräsbetonirakenteissa. [2, s.22.]

4.3.1 Betonin karbonatisoitumisen vaikutus korroosion kehitykseen

Kemiallisesti tarkasteltuna karbonatisoituminen on sementin sisältämien kalsiumyhdisteiden kemiallista reagoimista ilman hiilidioksidin kanssa. Normaalisti betonin emäksisyys on luokkaa pH 13–14, jolloin teräksen ominaisuuksista johtuen, sen pinnalle muodostuu korroosiolta suojaava oksidikalvo. Karbonatisoituessaan betonin emäksisyys laskee noin arvoon pH 8,5, jolloin raudoitteiden pinnalle muodostunut oksidikalvo alkaa tuhoutua ja korroosio aktivoituu. [8, s. 97–99.]

Karbonatisoituminen on ilmiö, joka etenee betonin pinnalta melko tasaisena rintamana yhä syvemmälle rakenteeseen. Edetessään karbonatisoitumisnopeus kuitenkin hidastuu merkittävästi hiilidioksidin kulkeutumisen vaikeutuessa syvemmälle mentäessä. Etenemisen estämiseksi kohti raudoitteita voidaan vaikuttaa pääsääntöisesti valitsemalla oikea betonin lujuusluokka, betonin tiiviys ja betonikerroksen paksuus. [8, s. 98.]

Muita karbonatisoitumisnopeutta hidastavia tekijöitä ovat erilaiset pinnoitteet ja pintatarvikkeet, joiden avulla voidaan hiilidioksidin pääsyä rakenteeseen estää tai vähentää. Pintarakenteena tiivis keraaminen laatta hidastaa tehokkaasti karbonatisoitumista. Tiili-laatan karbonatisoitumista hidastava vaikutus puolestaan liittyy tiilen huokoisuuteen, jolloin elementin valun yhteydessä betonimassan vesi imeytyy tiililaattaan ja betonista tulee näin tiiviimpää. [3, s. 22.]

4.3.2 Betonin kloridipitoisuuden vaikutus korroosion kehitykseen

Betonin kloridipitoisuuden kriittisenä raja-arvona kloridikorroosion käynnistymiselle pidetään 0,03–0,07 painoprosentin ylittymistä betonin painosta. Betonirauhoitteiden kloridikorroosio on tyypillisesti hyvin aggressiivinen, pistemäinen ja saattaa edetä pitkällekin ennen kuin on silmämääräisesti havaittavissa. Kloridikorroosion kannalta riskialttiita paikkoja ovat maantiesuolan ja tuulen kuljettaman suolaisen meriveden altistamat rakenteet. [2, s. 25.]

Tampereen teknillisen yliopiston julkaiseman ”Betonijulkisivujen korjausstrategiat” tutkimusraportin mukaan 950 tutkitusta rakennuksesta kloridikorroosion kannalta kriittinen raja-arvo ylittyi vain neljässä kohteessa. [1, s. 27.]

5 Seurantakuntotutkimukset ja tutkimusotanta

5.1 Yleistä

Tätä opinnäytetyötä varten valikoitiin Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n vuosina 2014–2015 tekemien seurantakuntotutkimuksien joukosta 10 tutkimusraporttia. Valinnan lähtökohtana oli, että samassa kohteessa on aiempina vuosina toteutettu Mehton toimesta suurin piirtein saman sisältöinen kuntotutkimus. Opinnäytetyön tekijä osallistui kenttätutkimuksiin neljässä valikoiduista seurantakuntotutkimuskohteista.

Tutkimusotanta on yhteensä 21 erillistä asuinkerrostaloa, joista kaksitoista on rakennettu 1970-luvulla, kuusi 1980-luvulla ja kolme 1990-luvulla. Kohteiden keskimääräinen ikä oli seurantakuntotutkimushetkellä noin 35 vuotta, vaihteluväli 23 – 43 vuotta. Kuntotutkimusten välinen aikajänne oli keskimäärin noin 9 vuotta, vaihteluväli 7 – 13 vuotta.

5.2 Kuntotutkimusmenetelmät

Kuntotutkimusmenetelmät, tutkimuksen sisältö ja laajuus määräytyvät lähes poikkeuksetta tutkimuksen tavoitteiden mukaan. Seuraavassa kerrotaan pääpiirteittäin yhden opinnäytetyössä tutkitun kohteen seurantakuntotutkimuksessa käytetyt kuntotutkimusmenetelmät. Muiden kohteiden tutkimusmenetelmät olivat pääsääntöisesti hyvinkin vastaavat ja saman sisältöiset.

5.2.1 Tutkittavan kohteen lähtötietojen selvittäminen

Ennen kenttätutkimusten suorittamista selvitettiin mm. kohteen rakennetyypit käytössä olleiden vanhojen piirustusten avulla sekä tutustuttiin aikaisempiin tutkimusraportteihin. Lisäksi haastateltiin kohteen teknistä isännöitsijää ja huoltomiestä selvittämään tiedot aiemmista korjauksista sekä havaituista ongelmista. Kohdekäynnin avulla kartoitettiin tässä tapauksessa lähinnä tilattavan henkilönostinauton kokoa ja ulottuman riittävyyttä.

Useimmiten kuntotutkijan itsensä on hyvä suorittaa kohdekäynti hyvissä ajoin ennen kenttätutkimuksia, nopeakin silmämääräinen katselmus saattaa tuoda esiin huomioimisen arvoisia asioita. Kohteen aikaisemman tutkimuksen jälkeen muuttuneet pihajärjestelyt tai puuston kasvu saattaa asettaa rajoitteita mm. henkilönostinauton koolle, nostimen petauspaikoille, tai ylittää hankaloittaa tutkimuksen tavoitteen saavuttamista.

5.2.2 Kenttätutkimusajankohta ja nostinkalusto

Kohteen kenttätutkimus suoritettiin keväällä 2015. Tutkimukset suoritettiin pääosin henkilönostinauton avulla, nostimen puomin pituus oli noin 45 metriä ja ulottuma sivulle noin 15 metriä.

5.2.3 Näytteiden otto ja mittaukset

Kohteen julkisivu- ja parvekerakenteista porattiin \varnothing 50 mm:n timanttilieriöporalla betoninäytelieriöitä. Peitepaksuusmittauksia ei tehty, peitepaksuusmittaukset ja dokumentointi oli tehty jo aiemmassa kuntotutkimuksessa. Näytelieriöporausten yhteydessä mitattiin ulkoseinärakenteen lämmöneristepaksuuksia. Rakennepaksuudet tarkistettiin, mikäli käytössä olleista piirustuksista tai muista asiakirjoista ei asia selvinnyt. Kohtees-

ta otettiin saumamassa- ja maalinäytteitä lyijy-, PCB- ja asbestipitoisuuksien määrittämiseksi.

5.2.4 Rakenteiden silmämääräinen tarkastelu

Kenttätutkimusten yhteydessä julkisivu- ja parvekerakenteita tarkasteltiin silmämääräisesti. Lisäksi betonirakenteita vasaroitiin mahdollisen rapautuman kartoittamiseksi. Tarkastelujen yhteydessä rakenteista otettiin runsaasti valokuvia.

5.3 Laboratoriotutkimukset

5.3.1 Näytteiden silmämääräinen tarkastelu

Silmämääräisessä tarkastelussa selvitettiin näyteliiriöiden porauspinnoista betonin ja näytteessä mahdollisesti olevien terästen yleisiä ominaisuuksia ja kuntoa.

Tarkasteltavia asioita olivat:

- näytteen pituus, rakenteen paksuus, eri rakennekerrosten paksuudet
- maksimiraekoko porauspinnasta mitattuna
- betonin tiivistyneisyys
- terästen halkaisijat ja etäisyydet ulko- ja sisäpinnoista tai ylä- ja alapinnoista
- näkyvien halkeamien olemassaolo, sijainti ja suuntautuneisuus
- muut mahdolliset rakenteen kuntoon vaikuttavat havainnot ja poikkeamat.

Betonin tiivistyneisyyttä kuvataan silmämääräisessä tarkastelussa asteikolla:

1 = erittäin heikko, 2 = heikko, 3 = keskinkertainen, 4 = hyvä, 5 = erittäin hyvä

5.3.2 Betonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen

Silmämääräisen tarkastelun yhteydessä määritettiin betonin karbonatisoitumissyvyys näyteliön pinnasta fenoliftaleiini-indikaattoriliuoksen avulla. Tutkittavista pinnoista määritettiin sekä keskimääräinen että maksimikarbonatisoitumissyvyys.

Kohteen iän (t) ja karbonatisoitumissyvyyden (x) avulla saadaan määritettyä karbonatisoitumiskerroin (k), $x = k \cdot \sqrt{t}$. Karbonatisoitumiskertoimen avulla karbonatisoitumisen etenemistä voidaan verrata muihin vastaaviin rakenteisiin.

5.3.3 Näytteiden huokoisuusarvojen määrittäminen

Näyteliöiden suojahuokossuhde määritettiin tyhjäkyllästysmenetelmällä, käyttäen näytteiden kapillaari- ja tyhjöpotusaikoina 72 h.

Suojahuokossuhteen määrittäminen on betonin pakkasenkestävyyden suhteen suuntaa antava menetelmä. Sen avulla saadaan selville suojahuokosten osuus, mutta ei niiden keskinäistä asemaa ja muotoa, millä on myös merkitystä arvioitaessa betonin pakkasenkestävyyttä.

Kapillaariimeytyspitoisuus saatiin selville suojahuokossuhteen määrittämisen yhteydessä. Kapillaariimeytyspitoisuus kuvaa näytteen kapillaarihuokoisuutta ja siten betonin tiiveyttä.

5.3.4 Näyteliöiden vetolujuuden määrittäminen

Näytteiden vetolujuudet määritettiin standardia SFS 5445 soveltaen. Vetokokeissa käytettävien näytteiden mitat eivät runkoaineskoon ja näytteiden halkaisijan suhteen välttämättä aina täytä standardin mukaisia arvoja.

Betonin pakkasrapautuminen aiheuttaa betoniin pinnan suuntaista halkeilua, mikä puolestaan aiheuttaa betonin vetolujuuden heikkenemistä. Vetolujuuden määrittämisellä pyritäänkin ensisijaisesti selvittämään betonissa mahdollisesti esiintyvän pakkasrapautumisen olemassaoloa, laajuutta ja edenneisyyttä.

Näytelieriöissä betonin vetolujuutta voi pakkasrapautumisen lisäksi heikentää myös näytteen kohdalle osuvat suurehkot runkoainesrakeet sekä teräkset. Tämä tulee huomioida tulkittaessa saatuja tuloksia. Betonin pakkasrapautumista arvioidaan yhdessä saadun vetolujuuden, murtokohdan ja murtotavan perusteella.

5.3.5 Betonin mikrorakennetutkimus eli ohuthietutkimus

Kohteella tehtyjen havaintojen ja laboratoriotutkimusten perusteella näytelieriöistä valikoitiin mm. tutkimuksen tavoite sekä kohteen koko huomioiden tarpeellinen määrä näytteitä lähetettäväksi tarkempiin betonin ohuthietutkimuksiin.

Betonin mikrorakennetutkimus suoritetaan laboratoriossa yleensä ohut- tai pintahieestä. Hienäytteen mikroskooppitarkastelussa saadaan tarvittaessa hyvin yksityiskohtaista tietoa betonin laadusta ja kunnosta. Mikrorakennetutkimuksessa on yleensä tarkoituksenmukaista selvittää:

- betonin pakkasenkestävyys eli toimivan lisähuokostuksen olemassaolo
- syntyneet säröt ja halkeamat sekä niiden suuntautuneisuus, joista voidaan päätellä halkeilun todennäköinen syy ja rapautumisen aste
- huokosten täytteisyys (vain ohuthie)
- mahdolliset haitalliset reaktiot. (ettringiitti, alkalirunkoaine) (vain ohuthietutkimus)

Lisäksi voidaan saada tarvittaessa selville:

- betonin laatu yleisesti
- karbonatisoitumissyvyys
- pintakäsittelyjen ja -tarvikkeiden tartuntatila
- mahdollisen maalin kuitupitoisuus. (asbesti).

[2, s. 107.]

Kustannuksiltaan mikrorakennetutkimus on kuitenkin suhteellisen kallis, joten tutkittavaksi lähetettävät näytteet pyritään valitsemaan siten, että ne mahdollisimman hyvin kuvaisivat kohteelle tyypillisiä betonirakenteiden ominaisuuksia tai yksittäisissä rakenteissa olevien riskitekijöiden olemassaoloa.

6 Kohteiden kuvaus

6.1 Kohde 1, Espoo

Espoossa sijaitseva kuusikerroksisen asuin- ja liikekerrostalo, talo on rakennettu vuonna 1992.

6.1.1 Julkisivut

Kohteen julkisivut ovat klinkkerilaattapintaisia betonisandwich-elementtejä. Parvekkeiden taustaseinät ovat puurunkoisia seiniä, joissa on maalattu puupaneeliverhous. Betonisokkelit ovat pinnoittamattomia ja pintastruktuuriltaan sileäpintaisia.

6.1.2 Parvekkeet

Kohteessa on osin rakennuksen rungosta ulkonevat, kantavien pieliseinien ja pilarien välityksellä omille perustuksilleen tuetut betonielementtiparvekkeet. Osa parvekkeista on rakennuksen julkisivulinjasta sisäänvedettyjä ja rakennuksen runkoon tuettuja betonielementtiparvekkeita. Parvekkeiteet ovat osin betonirakenteisia, ja ne on valettu laatan kanssa yhteen. Betonikaiteiden yläosissa on teräsrakenteinen ja maalattu käsi-johdeosa. Kaiteissa on myös teräsrakenteinen ja maalattu pinnakaideosa. Parvekkeiden betonirakenteet ovat pinnoittamattomia lukuun ottamatta laatan yläpintaa ja kaiteen sisäpintaa, jotka ovat maalattuja.

6.1.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu parvekelaatan etureunan vedenpoistouraa pitkin Ø 40 mm muoviseen ulosheittoputkeen. Putki on viety parvekelaatan etureunasta tai päädystä laatan ja kaiteen liittymän läpi. Parvekekattojen vedenpoisto tapahtuu parvekekaton etureunassa olevaan vesikouruun, josta vesi valuu vapaasti alas.

6.1.4 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty aiempi julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus vuonna 2008. Julkisivuille oli ehdotettu julkisivuelementeistä irronneiden yksittäisten klinkkerilaattojen uusimista ja julkisivujen käyttöiän jatkamista muuten normaalein huoltotoimenpitein. Parvekkeille oli ehdotettu kevyttä kunnostusta 3 - 5 vuoden kuluessa. Ehdotetut korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.1.5 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tarkoituksena oli tarkastaa julkisivujen ja parvekkeiden nykyinen kunto sekä se, onko aiemmin ehdotettu korjaustapa edelleen soveltuva.

6.2 Kohde 2, Helsinki

Helsingissä sijaitseva, kaksi erillisestä asuinkerrostaloa käsittävä kohde, talot on rakennettu vuonna 1991. Rakennukset ovat pääosin kolmikerroksisia, molemmissa taloissa on lisäksi kaksi neljännen kerroksen asuntoa.

6.2.1 Julkisivut

Kohteen julkisivut ovat pääasiassa hienopestyjä, pesubetonipintaisia sandwich-elementtejä. Julkisivuissa on myös valkobetonia ja keltaista väribetonia. Sokkelit ovat muottipintaisia, betoninharmaita, pinnoittamattomia sokkeli-elementtejä.

6.2.2 Parvekkeet

Parvekkeet ovat rakennuksen rungosta ulkonevia, pieliseinien ja L-mallisin pilarien välityksellä omilta perustuksiltaan kannateltuja betonielementtiparvekkeita. Pieliseinät ja pilarit ovat maalipintaisia. Maalatut etukaiteet ovat samaa betonivalua pinnoittamattomien parvekelaattojen kanssa. Sivukaiteet ovat maalattua, sinkittyä teräsprofiilia ja teräsverkkoa. Parvekkeilla on lisäksi puurakenteiset, maalatut koristesäleiköt.

6.2.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Vedenpoisto on toteutettu ulosheittoputkin, 1 kpl / parveke. Parvekekatot ovat kumibitumikermein vesieristettyjä betonilaattoja, joista vedenpoisto on toteutettu kallistuksin vesikatolle tai ulosheittoputkin 1 kpl / parvekekatto. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.2.4 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteen edellinen julkisivu- ja parvekekuntotutkimus on tehty vuonna 2007. Tällöin julkisivuille ehdotettiin kevyttä kunnostusta ja parvekkeiden kunnostusta 2 - 5 vuoden kuluessa. Ehdotettuja korjauksia ei ole tehty. Lisäksi parvekepieliseinille on tehty betonipinnan voimakkaan halkeilun takia lisäkuntotutkimus vuonna 2009. Tällöin pieliseinille ehdotettiin betonikorjauksia laastipaikkauksilla ja pintojen maalausta. Yksittäinen pahoin vaurioitunut pieliseinäelementti on korjattu.

6.2.5 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää kohteen betonisten julkisivu- ja parvekerakenteiden nykyinen kunto sekä määritellä niiden tuleva korjaustarve.

6.3 Kohde 3, Hämeenlinna

Hämeenlinnassa sijaitseva nelikerroksinen asuinkerrostalo, rakennus on valmistunut vuonna 1973. Julkisivut ja parvekkeet on kunnostettu kohteen peruskorjauksen yhteydessä vuonna 1996. Samassa yhteydessä on rakennettu uusia parvekelinjoja.

6.3.1 Julkisivut

Julkisivut ovat pääosin pesubetonipintaisia sandwich-elementtejä. Yläpohjan kohdalla elementit ovat matalia pesubetonipintaisia kuorielementtejä. Porrashuoneiden ja pohjakerroksen osalta elementit ovat sileäpintaisia ja maalattuja. Sokkelit ovat paikalla valettuja ja pinnaltaan maalattuja. Peruskorjauksen yhteydessä maalatut osat on huolto-maalattu ja pesubetonipinnoista osa on impregnoitu.

6.3.2 Alkuperäiset parvekkeet

Alkuperäiset parvekkeet ovat rakennuksen rungosta ulkonevia, kantavien pieliseinien välityksellä omille perustuksilleen tuettuja betonielementtiparvekkeita. Kaide ja laatta ovat samaa betonielementtiä.

6.3.3 Alkuperäisten parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu ulosheittoputkella laatan molemmista etunurkista kaiteen ja pieliseinän välistä syöksytorveen. Parvekerakenteet ovat maalattuja ja ne on kunnostettu peruskorjauksen yhteydessä. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.3.4 Uudet parvekkeet

Peruskorjauksen yhteydessä on rakennettu uusia betonielementtirakenteisia parvekelinjoja alkuperäisten parvekelinjojen viereen. Uudempien parvekkeiden laatat tukeutuvat toisesta päästään alkuperäisten parvekkeiden pieliseiniin kiinnitettyihin L-teräksiin ja toisesta päästään betonielementtipilareihin. Kaiteet ovat osittain betonirakenteisia ja osittain teräsrunkoisia. Teräsrunkoisen osan kaidelevynä on teräsverkko. Käsijohde on teräsputkirakenteinen. Parvekerakenteet ovat maalattuja.

6.3.5 Uusien parvekkeiden vedenpoisto

Vedenpoisto tapahtuu ulosheittoputkella parvekkeen etunurkasta laatan läpi syöksytorveen. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.3.6 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteen julkisivuille ja alkuperäisille parvekkeille on tehty edellinen kuntotutkimus vuonna 2004. Tällöin julkisivuille ehdotettiin peittävää korjausta mahdollisimman pikaisesti, tai vaihtoehtoisesti julkisivujen uusimista viimeistään viiden vuoden kuluttua. Alkuperäisille parvekkeille tutkimuksessa ehdotettiin uusimista viiden vuoden kuluttua. Korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.3.7 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tarkoituksena oli tarkistaa julkisivu- ja parvekerakenteiden nykyinen kunto. Samalla varmistetaan ovatko aiemmin ehdotetut korjaustavat edelleen soveltuvia. Lisäksi tavoitteena oli selvittää jälkeempään rakennettujen parvekkeiden kunto ja korjaustarve.

6.4 Kohde 4, Vantaa

Vantaalla sijaitseva, kolme erillistä neljäkerroksista asuinkerrostaloa käsittävä kohde, talot on rakennettu vuonna 1976.

6.4.1 Julkisivut

Rakennusten julkisivuina on pääosin puhtaaksi muurattu kalkkiehkekatiiliverhous. Parvekkeiden taustaseinissä, parvekeovien ja -ikkunoiden yläpuolisilla osilla on maalattu profiilipeltiverhous. Sokkelit ovat paikalla valettuja, pintastruktuuriltaan lautamuottipintaisia ja maalattuja betonisokkeleita.

6.4.2 Parvekkeet

Kohteessa on rakennuksen rungosta ulkonevat, 1. kerroksen kantavien konsolipalkkien sekä pieliseinien välityksellä rakennuksen runkoon tuetut betonielementtiparvekkeet. Parvekkeiteet ovat teräsrunkoisia, kaidelevyt ovat maalattua profiilipeltiä. Parvekkeiden betonirakenteet ovat maalattuja.

6.4.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu suoraan parvekelaatan etureunan yli alas. Parvekkeattojen vedenpoisto on toteutettu ulospäin kallistetun katon etureunasta osin vapaasti vesipeltiä pitkin ja osin katon etureunassa sijaitsevan vesikourun kautta alas.

6.4.4 Luhtikäytävät

Rakennusten sisäänkäyntien puolella sijaitsevat luhtikäytävät koostuvat julkisivupinnasta ulkonevista paikalla valetuista betonilaatoista. Laatoissa on kantavan laatan päällä lisäksi erillinen pintalaatta. Luhtikäytävän laatat on kannatettu osin teräspalkein rakennusten rungosta sekä osin päädyissä sijaitsevista pieliseinistä, jotka tukeutuvat omiin perustuksiinsa. Luhtikäytävien keskiosilla sijaitsevat omille perustuksilleen tuettujen betonirakenteisten seinien ympäröimät sisäänkäyntiportaikot. Luhtikäytävien laattojen yläpinnassa on akryylipinnoite. Laattojen alapinnat ovat maalattuja ja pintastruktuuriltaan sileäpintaisia. Luhtikäytävien pieliseinät ovat maalattuja ja pintastruktuuriltaan ne ovat sileäpintaisia. Luhtikäytävien kaiteet ovat teräsrunkoisia ja maalattuja. Kaiteet on verhoiltu maalatuilla profiilipellityksillä. Luhtikäytävien porrassseinät ovat maalattuja ja sisäänkäyntiportaikot betonipintaisia.

6.4.5 Luhtikäytävien vedenpoisto

Luhtikäytävien vedenpoisto tapahtuu suoraan ulospäin kallistetun laatan etureunan yli vapaasti alas. Luhtikäytävien sekä sisäänkäyntiportaikkojen kattojen vedenpoisto on toteutettu ulospäin kallistetun katon etureunasta vesikourua ja syöksytorvea pitkin alas.

6.4.6 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty vuonna 2007 julkisivujen, parvekkeiden ja luhtikäytävien kuntotutkimus, jossa julkisivuille oli ehdotettu kevyttä kunnostusta ja luhtikäytävälle perusteellista kunnostusta noin 3-5 vuoden kuluessa. Parvekkeille oli ensisijaisesti ehdotettu arvioitun jäljellä olevan noin 5-10 vuoden käyttöiän käyttämistä loppuun, jonka jälkeen parvekkeet uusitaan. Vaihtoehtoisesti parvekkeille oli ehdotettu perusteellista kunnostusta noin kahden vuoden kuluessa. Korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.4.7 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tarkoituksena oli tarkastaa julkisivujen, parvekkeiden ja luhtikäytävien nykyinen kunto, sekä määrittää, onko aiemmin ehdotettu korjaustapa edelleen soveltuva.

6.5 Kohde 5, Kerava

Keravalla sijaitseva, kaksi erillisestä kolmekerrosista asuinkerrostaloa käsittävä kohde, talot on rakennettu vuonna 1989.

6.5.1 Julkisivut

Rakennusten julkisivut ovat tiililaattapintaisia betonisandwich-elementtejä. Parvekkeiden taustaseinien osilla on myös tiililaattapintaiset sandwich-elementit. Rakennusten sokkelit ovat pinnoittamattomia ja pintastruktuuriltaan sileäpintaisia betonielementtejä.

6.5.2 Parvekkeet

Kohteessa on rakennuksen rungosta ulkonevat, kantavien pieliseinien välityksellä omille perustuksilleen tuetut betonielementtiparvekkeet. Parvekekaiteet ovat osin betonirakenteisia ja ne on valettu laatan kanssa yhteen. Kaiteissa on myös teräsrakenteinen ja kuumasinkitty pinnakaideosa. Parvekkeiden betonirakenteet ovat pinnoittamattomia. Pieliseinien ja kaiteiden ulkopinnat ovat harjakuvioituja. Parvekkeiden ulkoreunojen pieliseinien aukossa on lisäksi puinen ritilärakenne.

6.5.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu laatan etureunan vedenpoistouraa pitkin ja Ø40 mm muovisen ulosheittoputken avulla (1 kpl/parveke) suoraan läpi parvekelaatan etureunasta. Parvekekattojen vedenpoisto on toteutettu ulospäin kallistetun katon etureunasta kourun ja syöksytorven avulla alas. Parvekkeista osa on lasitettu.

6.5.4 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty julkisivu- ja parvekekuntotutkimus vuonna 2007, jossa julkisivuille oli ehdotettu julkisivuelementtien kevyttä kunnostusta 2-5 vuoden kuluessa. Parvekkeille oli ehdotettu perusteellista kunnostusta 2-5 vuoden kuluessa. Korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.5.5 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tarkoituksena oli tarkastaa julkisivujen ja parvekkeiden nykyinen kunto sekä määrittää, onko aiemmin ehdotettu korjaustapa edelleen soveltuva.

6.6 Kohde 6, Pori

Porissa sijaitseva, neljä erillistä asuinkerrostaloa käsittävä kohde, talot ovat valmistuneet vuonna 1973. Taloissa A ja B on osin maanpäällinen kellarikerros ja kolme asuinkerrosta. Taloissa C ja D on maanpäällinen kellarikerros ja kolme asuinkerrosta.

6.6.1 Julkisivut

Talojen julkisivut ja parvekkeiden taustaseinät ovat maalipintaisia betonisandwich-elementtejä. Parvekejulkisivuilla ikkunoiden välissä betonielementeissä on pystyuritus.

6.6.2 Parvekkeet

Kohteessa on rakennuksen rungosta ripustetut ns. konttiparvekkeet. Elementtirakenteisissa konttiparvekkeissa laatta, kaide ja pieliseinät muodostavat yhden elementin, joka on ripustettu ylänurkistaan teräskorvakkein välipohjalaatan varaan. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.6.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu ulosheittoputkien kautta. Vedenpoisto on kuitenkin puutteellinen, koska kallistukset parvekelaatoissa kohti vedenpoistoreikiä ovat pienet. Alimpien parvekkeiden vedenpoistoputket loppuvat laatan etureunan tasoon ja poistovesi voi imeytyä betoniin.

6.6.4 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty julkisivu- ja parvekekuntotutkimus vuonna 2004, jossa julkisivuille ehdotettiin tehtäväksi kevyitä korroosio- ja pakkasrapautuma vaurioiden korjauksia. Lisäksi julkisivujen osalta ehdotettiin varautumaan peittävän korjauksen tekemiseen 5 –

10 vuoden kuluessa. Parvekkeille ja sokkeleille ehdotettiin tehtäväksi perusteellinen kunnostus 2 – 3 vuoden kuluessa. Korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.6.5 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää kohteen julkisivu- ja parvekerakenteiden kunto sekä määritellä niiden tuleva korjaustarve. Tutkimukset keskitettiin talojen rasietuimmille julkisivuille.

6.7 Kohde 7, Järvenpää

Järvenpäässä sijaitseva 5 kerroksisen asuinkerrostalo, rakennus on valmistunut vuonna 1978. Kohteen julkisivut ja parvekkeet on kunnostettu vuonna 2000.

6.7.1 Parvekkeet

Kohteessa on rakennuksen rungosta ulkonevat, kantavien pieliseinien välityksellä omille perustuksilleen tuetut betonielementtiparvekkeet. Parvekelaatat ja parvekekaiteet ovat samaa betonielementtiä. Parvekelaatat tukeutuvat alapuolisen pielielementin yläpäähän muodostettuun hyllyyn. Parvekelattioissa on lattiapinnoite, muut parvekerakenteiden betonipinnat ovat maalattuja.

6.7.2 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu kaidellevyjien ulkopintaan asennettujen ulosheittoputkien kautta. Parvekekattojen vedenpoisto tapahtuu vapaasti kattolaattojen etureunan yli.

6.7.3 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteeseen on tehty parvekekuntotutkimus vuonna 2002. Edellisessä tutkimuksessa parvekkeille on ehdotettu kevyitä kunnostuksia. Korjaukset olivat seurantakuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.7.4 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää parvekerakenteiden kunto sekä määrittellä niiden korjaustarve tulevaa peruskorjausta ajatellen.

6.8 Kohde 8, Oulu

Oulussa sijaitseva, kolme kolmekerroksista asuinkerrostaloa sekä yhden yksikerroksisen huolto- ja asuinrakennuksen käsittävä kohde. Rakennukset ovat valmistuneet vuosina 1982 – 1983.

6.8.1 Julkisivut

Rakennusten julkisivut ovat pääosin pesubetonipintaisia sandwich-elementtejä. Ikkunauukkojen ylä- ja alapuolella elementeissä on sileäpintainen vaakauritettu osa. Yläpohjien ja väestönsuojien kohdalla olevat elementit ovat pesubetonipintaisia kuorielementtejä. Sokkelit ovat pinnoittamattomia betonielementtejä.

6.8.2 Parvekkeet

Parvekkeet ovat rakennuksen rungosta ulkonevia, kantavien pieliseinien välityksellä omille perustuksilleen tuettuja betonielementtiparvekkeita. Kaiteet ovat osin vaakauritettuja ja osin sileäpintaisia betonielementtejä. Uritetun osan yläreunassa on matala valoaukko.

6.8.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu parvekkeen etureunasta, muovisten ulosheittoputkien kautta. Parvekkeista noin joka kolmas on varustettu parvekelasituksin.

6.8.4 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty julkisivu- ja parvekekuntotutkimus vuonna 2005. Tuolloin julkisivuille ehdotettiin tehtäväksi kevyitä korroosio- ja paikkauskorjauksia sekä varautumaan noin

10 vuoden kuluttua julkisivujen peittävään korjaukseen. Parvekkeille suositeltiin perusteellista kunnostusta 2 – 3 vuoden kuluessa.

6.8.5 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tarkoituksena oli tarkistaa julkisivu- ja parvekerakenteiden vaurioitumisen tämän hetkinen tilanne ja varmistaa, ovatko aiemmin ehdotetut korjaustavat edelleen soveltuvia.

6.9 Kohde 9, Pori

Porissa sijaitseva kolmikerroksinen asuinkerrostalo, kohde on valmistunut vuonna 1977.

6.9.1 Julkisivut

Rakennuksen julkisivut ovat pääosin pesubetonipintaisia sandwich-elementtejä. Piha-julkisivun ikkunoiden välissä pesubetonipinnassa on vaakauritus. Päätyparvekkeita lukuun ottamatta parvekkeiden ja luhtikäytävien taustaseinien ulkoverhouksena on teräspoimulevy.

6.9.2 Parvekkeet

Kohteessa on rakennuksen rungosta ulkonevat, kantavien pieliseinien välityksillä omille perustuksilleen tuetut betonielementtiparvekkeet. Parvekelaatat tukeutuvat alapuolisen pieliseinän yläpään muodostettuun hyllyyn. Parvekkeissa on teräsrunkoiset kaiteet, joiden kaidelevytyksenä ovat teräspoimulevyt. Parvekkeet on kunnostettu vuonna 1997.

6.9.3 Parvekkeiden vedenpoisto

Parvekelaattojen vedenpoisto on toteutettu hallitsemattomasti etureunan yli, vedenpoisto lisää parvekelaattojen etureunan kosteusrasitusta. Parvekelaattojen kallistukset

vaikuttavat riittävältä. Parvekekattojen vesikouruista valuva vesi kastelee parvekepieliseiniä sekä parvekelaattojen yläpintoja.

6.9.4 Luhtikäytävät

Kohteen pihajulkisivulla on teräsbetoniulokkeiden avulla rakennuksen rungosta tuetut luhtikäytävälaatat. Peruskorjauksen yhteydessä porrashuoneiden ja luhtikäytävien kohdalle on valettu maanvaraiset betonilaatat. Lisäksi luhtikäytäviin ja porrashuoneisiin on asennettu alumiinirunkoiset kaiteet ja parvekelasit. Luhtikäytävät on kunnostettu vuonna 1997. Luhtikäytävälaattojen yläpinnat oli pinnoitettu aiemman tutkimuksen jälkeen.

6.9.5 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteelle on tehty julkisivujen, parvekkeiden ja luhtikäytävien kuntotutkimus vuonna 2005. Tällöin julkisivuille ehdotettiin tehtäväksi kevyitä korroosiovaurioiden korjauksia ja varautumaan noin 10 vuoden kuluessa tehtävään julkisivujen peittävään korjaukseen. Parvekerakenteille oli seurantakuntotutkimushetkellä tehty kunnostustoimenpiteitä ja niiden käyttöikää katsottiin vielä voitavan jatkaa.

6.9.6 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää kohteen betonisten julkisivu-, parveke- ja luhtikäytäväarakenteiden kunto sekä määritellä niiden tuleva korjaustarve.

6.10 Kohde 10, Järvenpää

Järvenpäässä sijaitseva, kaksi erillisestä 8 kerroksista asuinkerrostaloa käsittävä kohde, talot on rakennettu vuonna 1972. Rakennukset on peruskorjattu vuosina 1993–1994. Tällöin kumpaankin rakennukseen on rakennettu uudempi parvekelinja ja sisääntulokatokset.

6.10.1 Julkisivut

Rakennusten julkisivut ovat pääosin maalipintaisia sandwich-elementtejä. Sokkelit ovat kellarikerroksen korkuisia ja paikalla valettuja. Ne ovat osin maalattuja, osin klinkkeri-laattapintaisia. Sokkelien yläpuolella, välipohjalaattojen kohdalla on kapeat maalipintaiset kuorielementit.

6.10.2 Alkuperäiset parvekkeet

Alkuperäiset parvekkeet ovat kantavin pieliseinin tuettuja, rakennuksesta ulkonevia, maalattuja betonielementtiparvekkeita. Osa pieliseinäelementeistä on aukollisia. Parvekkeiden alimmat pieliseinät ovat paikalla valettuja. Pieliseinien etureunat on pellitetty jossain vaiheessa.

6.10.3 Alkuperäisten parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto on toteutettu kaiteen läpi asennetuilla ulosheittoputkilla. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.10.4 Uudet parvekkeet

Rakennusten eteläisivuilla on uudemmat, vuosina 1993–1994 rakennetut parvekelinjat. Parvekkeissa on maalatut teräspilarit, jotka on tuettu omille perustuksilleen teräsbetonipilarein. Parvekelaatat ovat teräsbetonirakenteisia. Laattojen yläpinnassa on parvekelattiapinnoite, alapinta on pinnoittamaton. Kaiteissa on maalattu teräsrunko ja ne on verhoiltu maalatulla teräsverkolla ja muovipinnoitetulla pellillä.

6.10.5 Uusien parvekkeiden vedenpoisto

Parvekkeiden vedenpoisto on toteutettu ulosheittäjäällä laatan etureunasta. Osa parvekkeista on lasitettu.

6.10.6 Aikaisemmat tutkimukset ja korjausehdotukset

Kohteeseen on tehty kuntotutkimus vuonna 2007. Tällöin julkisivuille on ehdotettu kevyttä kunnostusta. Alkuperäisille parvekkeille on ehdotettu perusteellista kunnostamista tai purkua ja uudelleen rakentamista. Lisäksi uudemmille parvekkeille on ehdotettu kevyttä maalaus-kunnostusta ja alimpiin pilareihin korjauksia. Korjaukset olivat seuranta-kuntotutkimusta tehtäessä tekemättä.

6.10.7 Seurantakuntotutkimuksen tavoitteet

Seurantakuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää kohteen betonisten julkisivu- ja parvekerakenteiden tämän hetkinen kunto sekä määritellä niiden tuleva korjaustarve. Tutkimuksessa tarkemmat kenttätutkimukset ja näytteenotto tehtiin taloon 1, talo 2 tutkittiin silmämääräisesti.

7 Karbonatisoitumissyvyyksien vertailu

7.1 Vertailun rajaus

Opinnäytetyön laajuuden rajaamiseksi tässä opinnäytetyössä keskityttiin ainoastaan betonirakenteissa esiintyvän teräskorroosion yleisimmän aiheuttajan, suojabetonin karbonisoitumisen tarkasteluun. Toteutuneen ja teoreettisen etenemisen vertailulla pyritään selvittämään, kuinka täsmällisiä ajan neliöjuureen pohjautuvat ennusteet karbonisoitumisen etenemisestä ovat kyseisissä kohteissa olleet. Opinnäytetyössä tutkittavien kuntotutkimusraporttien tutkimustiedoista kerättiin betonirakenteiden karbonisoitumisesta saadut tulokset. Vertailutulosten tarkastelun helpottamiseksi tuloksista laadittiin Excel-taulukot, taulukoihin lisättiin mm. karbonisoitumiskertoimet esittävät ajan neliöjuureen pohjautuvat laskentakaavat.

7.2 Karbonatisoitumissyvyyksien vertailu kohteittain

7.2.1 Kohde 1, Espoo

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
23	KT 2008	SKT 2015	toteuma	k*Va 7v.			min.k.	-	max.k.	
SW ulkokuori	2	0		7	0,00	22	1,5	-	3,5	17
Parvekelaatta	17	24	7	8	5,00	38	2,0	-	4,0	19
Parvekepieli	10	22	12	7	4,59	32	1,5	-	4,0	19
Parvekekaide	3	7	4	6	1,46	43	1,0	-	3,5	17
Sokkeli	10	14	0	7	2,92	34	1,5	-	3,5	17
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
23	KT 2008	SKT 2015	toteuma	k*Va 7v.			min.k.	-	max.k.	
Parvekelaatta	6	10	0	4	2,09	43	0,5	-	2,5	12
Parvekepieli	12			8	0,00	32	1,5	-	4,0	19
Parvekekaide	3	9	5	6	1,88	45	1,0	-	3,5	17
Sokkeli		1		7	0,21	31	1,5	-	3,5	17

Kuva 5. Havaintoja taulukosta. Parvekelaatan ja -pielen näytteiden perusteella jonkin verran normaalia nopeampaa karbonatisoitumista.

7.2.2 Kohde 2, Helsinki

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
24	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8v.			min.k.	-	max.k.	
SW ulkokuori	1	2	1	7	0,41	33	1,5	-	3,5	17
Parvekelaatta	16	8		8	1,63	37	2,0	-	4,0	20
Parvekepieli	6	9	3	8	1,84	29	1,5	-	4,0	20
Parvekekaide	7	7	0	6	1,43	22	1,0	-	3,5	17
Parvekepilari	6	7	1	8	1,43	31	1,5	-	4,0	20
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
24	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8v.			min.k.	-	max.k.	
Parvekelaatta	2	2	0	4	0,41	35	0,5	-	2,5	12
Parvekepieli	6	5		8	1,02	29	1,5	-	4,0	20
Parvekekaide	4	9	5	6	1,84	35	1,0	-	3,5	17
Parvekepilari	6	3		8	0,61	31	1,5	-	4	20

Kuva 6. Havaintoja taulukosta. Melko maltillisia karbonatisoitumiskertoimia.

7.2.3 Kohde 3, Hämeenlinna

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2004	SKT 2015	toteuma	k*Va 11v.			min.k.	-	max.k.	
42										
SW ulkokuori	25	19		8	2,93	35	1,5	-	3,5	23
Parvekelaatta	27	15		10	2,31	32	2,0	-	4,0	26
Parvekepieli	18	11		9	1,70	24	1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	21	8		7	1,23	29	1,0	-	3,5	23
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2004	SKT 2015	toteuma	k*Va 11v.			min.k.	-	max.k.	
42										
Parvekelaatta	7	3		5	0,46	35	0,5	-	2,5	16
Parvekepieli	24	11		9	1,70	24	1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	25	13		7	2,01	23	1,0	-	3,5	23

Kuva 7. Havaintoja taulukosta. 2015 tutkimuksessa parvekelaatan ja parvekepielen näytteet porattiin 1996 rakennetuista uusista parvekkeista, eivätkä siten ole vertailukelpoisia. Karbonatisoitumiskertoimet ovat kohteen betonirakenteissa kuitenkin melko korkeita, mikäli ne lasketaan vuoden 2004 tutkimustulosten pohjalta. Tämän voi havaita vertaamalla KT 2004 sarakkeen ja viimeisen sarakkeen yleisiä karbonatisoitumisen maksimiarvoja keskenään.

7.2.4 Kohde 4, Vantaa

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2008	SKT 2015	toteuma	k*Va 7 v.			min.k.	-	max.k.	
39										
Sokkelit	13	20	7	7	3,20	36	1,5	-	3,5	22
Parvekelaatta	14	15	1	8	2,40	31	2,0	-	4,0	25
Parvekepieli	11	13	2	7	2,08	25	1,5	-	4,0	25
Luhtik. laatta	10	11	1	8	1,76	23	2,0	-	4,0	25
Luhtik. seinä	13	12		7	1,92	30	1,5	-	4,0	25
Porrasseinä	3	7	4	7	1,12	36	1,5	-	4,0	25
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2008	SKT 2015	toteuma	k*Va 7v.			min.k.	-	max.k.	
39										
Parvekelaatta	4	6	2	4	0,96	33	0,5	-	2,5	16
Parvekepieli	14	16	2	7	2,56	29	1,5	-	4,0	25
Luhtik. laatta	8	12	4	7	1,92		1,5	-	4,0	25
Luhtik. seinä	12	23	11	7	3,68	30	1,5	-	4,0	25

Kuva 8. Havaintoja taulukosta. Sokkeleissa ja luhtikäytävien seinissä karbonatisoitumisrintama on edennyt muita rakenteita nopeammin.

7.2.5 Kohde 5, Kerava

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8 v.			min.k.		max.k.	
26										
SW ulkokuori	8	14	6	7	2,75	41	1,5	-	3,5	18
Parvekelaatta	15	13		8	2,55	32	2,0	-	4,0	20
Parvekepieli	8	10	2	8	1,96	27	1,5	-	4,0	20
Parvekekaide	8	11	3	6	2,16	40	1,0	-	3,5	18
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8 v.			min.k.		max.k.	
26										
SW ulkokuori	5	11	6	7	2,16		1,5	-	3,5	18
Parvekelaatta	3	2		4	0,39		0,5	-	2,5	13
Parvekepieli	8	14	6	8	2,75	27	1,5	-	4,0	20
Parvekekaide	9	12	3	6	2,35		1,0	-	3,5	18

Kuva 9. Havaintoja taulukosta. Suhteellisen hyvälaatuisia betonirakenteita, karbonatisoituminen on ollut melko normaalia.

7.2.6 Kohde 6, Pori

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2004	SKT 2015	toteuma	k*Va 11v.			min.k.		max.k.	
42										
SW ulkokuori	8	14	6	8	2,16	29	1,5	-	3,5	23
Parvekelaatta	6	16	8	10	2,47	37	2,0	-	4,0	26
Parvekepieli	8	12	4	9	1,85	29	1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	7	12	5	7	1,85	39	1,0	-	3,5	23
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. k*√a
	KT 2004	SKT 2015	toteuma	k*Va 11v.			min.k.		max.k.	
42										
SW ulkokuori	1	2	1	8	0,31	21	1,5	-	3,5	23
Parvekelaatta	5	3		5	0,46	20	0,5	-	2,5	16
Parvekepieli	14	16	2	9	2,47	25	1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	12	8		7	1,23	27	1,0	-	3,5	23

Kuva 10. Havaintoja taulukosta. Kohteella ei ole huomattavia ongelmia betonirakenteissa, ainostaan parvekepieliön sisäpinnassa karbonatisoituminen lähestyy peitepaksuudeltaan vähäisiksi jääneitä teräksiä. Karbonatisoituminen on siitä huolimatta ollut huomattavan hidadista verrattuna muihin saman ikäisiin tutkimuskohteisiin.

7.2.7 Kohde 7, Järvenpää

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. $k\sqrt{a}$
36	KT 2002	SKT 2015	toteuma	$k\sqrt{a}$ 13 v.			min.k.		max.k.	
Parvekelaatta	10	13	3	11	2,17	29	2,0	-	4,0	24
Parvekekaide	5	2		8	0,33	31	1,0	-	3,5	21
Parvekepieli	8	9	1	10	1,50	24	1,5	-	4,0	24
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. $k\sqrt{a}$
36	KT 2002	SKT 2015	toteuma	$k\sqrt{a}$ 13 v.			min.k.		max.k.	
Parvekelaatta	5	5		5	0,83	30	0,5	-	2,5	15
Parvekekaide	5	3		8	0,50	24	1,0	-	3,5	21
Parvekepieli	8	12	4	10	2,00	22	1,5	-	4,0	24

Kuva 11. Havaintoja taulukosta. Kohteella vaikuttaa olevan melko hyvälaatuisia betonirakenteita, karbonatisoitumiskertoimetkin suhteellisen matillisia.

7.2.8 Kohde 8, Oulu

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. $k\sqrt{a}$
33	KT 2005	SKT 2015	toteuma	$k\sqrt{a}$ 10 v.			min.k.		max.k.	
SW ulkokuori	8	10	2	8	1,74	34	1,5	-	3,5	20
Parvekelaatta	27	29	2	9	5,05	32	2,0	-	4,0	23
Parvekepieli	8	17	9	9	2,96	29	1,5	-	4,0	23
Parvekekaide	15	20	5	7	3,48	25	1,0	-	3,5	20
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti			max. $k\sqrt{a}$
33	KT 2005	SKT 2015	toteuma	$k\sqrt{a}$ 10 v.			min.k.		max.k.	
SW ulkokuori	6	14	8	8	2,44	24	1,5	-	3,5	20
Parvekelaatta	12	11		5	1,91	30	0,5	-	2,5	14
Parvekepieli	18	17		9	2,96	29	1,5	-	4,0	23
Parvekekaide	17	22	5	7	3,83	34	1,0	-	3,5	20

Kuva 12. Havaintoja taulukosta. Näytteenotokohdassa karbonatisoitumisvyöhyke on saavuttamassa huomattavan osan parvekelaatan alapinnan teräksistä. Karbonatisoitumiskertoimet ovat kauttaaltaan hieman korkeita.

7.2.9 Kohde 9, Pori

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti		max. k*√a	
37	KT 2005	SKT 2014	toteuma	k*Va 9v.			min.k.	max.k.		
SW ulkokuori	17	12		8	1,97	26	1,5	-	3,5	21
Parvekelaatta	22	13		9	2,14	31	2,0	-	4,0	24
Parvekepieli	16	25	9	8	4,11	36	1,5	-	4,0	24
Luhtik. Laatta	9	26	15	9	4,27	23	2,0	-	4,0	24
Sokkeli	20	25	5	8	4,11	34	1,5	-	3,5	21
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti		max. k*√a	
37	KT 2005	SKT 2014	toteuma	k*Va 9v.			min.k.	max.k.		
SW ulkokuori	5	4		8	0,66	23	1,5	-	3,5	21
Parvekelaatta	10	4		5	0,66	21	0,5	-	2,5	15
Parvekepieli	9	28	19	8	4,60	35	1,5	-	4,0	24
Luhtik. Laatta	17	12		5	1,97		0,5	-	2,5	15
Sokkeli	4	8	4	8	1,32		1,5	-	3,5	21

Kuva 13. Havaintoja taulukosta. Karbonatisoitumiskertoimet ovat osassa kohteen betoniraken- teista epätyypillisen korkeita.

7.2.10 Kohde 10, Järvenpää

Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden ulko- tai alapinnoissa										
Betonin ikä a.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti		max. k*√a	
43	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8v.			min.k.	max.k.		
SW ulkokuori	12	12		7	1,83	26	1,5	-	3,5	23
Parvekelaatta	14	16	2	8	2,44	31	2,0	-	4,0	26
Parvekepieli	13	28	15	8	4,27	36	1,5	-	4,0	26
Parvekel. -93	0	12	12	8	1,83	23	2,0	-	4,0	19
Pielielementti	9	12	3	8	1,83	23	1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	10	5		6	0,76	34	1,0	-	3,5	23
Betempilari	3	4	1	8	0,61	34	1,5	-	4,0	26
Keskimääräinen karbonatisoituminen näytteiden sisä- tai yläpinnoissa										
Betonin ikä v.	Luvut ovat keskiarvoja				kerroin k. 2015	peite- paksuus	k. yleisesti		max. k*√a	
43	KT 2007	SKT 2015	toteuma	k*Va 8v.			min.k.	max.k.		
SW ulkokuori	4	6	2	7	0,91	23	1,5	-	3,5	23
Parvekelaatta	3	4	1	4	0,61	21	0,5	-	2,5	16
Parvekepieli	22	31	9	8	4,73	35	1,5	-	4,0	26
Parvekel. -93	0	2	2	4	0,30		0,5	-	2,5	12
Pielielementti	14	12		8	1,83		1,5	-	4,0	26
Parvekekaide	14	12		6	1,83		1,0	-	3,5	23

Kuva 14. Havaintoja taulukosta. Paikalla valettuja pielielementtejä lukuun ottamatta karbonati- soituminen on ollut verrattain hidasta.

8 Johtopäätökset

8.1 Johtopäätökset karbonatisoitumis- ja korroosiotilanteesta

Julkisivu- ja parvekerakenteissa raudotteiden korroosiovauriot syntyvät lähes yksinomaan betonin karbonatisoitumisen seurauksena. Muiden korroosiolle altistavien tekijöiden, kuten kloridien osuus on yleisesti häviävän pieni. Beko tietokantaan kerättyjen, noin 950 rakennuksen kuntotutkimustulosten joukossa, vain neljässä esiintyi korroosion kannalta kriittinen määrä klorideja. [1, s. 27.]

8.1.1 Kohde 1, Espoo

Julkisivuelementeissä terästen korroosio ei tutkimushetkellä ollut merkittävä ongelma. Terästen peitepaksuudet olivat edellisen tutkimuksen mukaan julkisivuelementeissä kohtalaisen hyviä. Betonin keskimääräinen karbonatisoitumisnopeus oli ollut normaalia hitaampaa. Julkisivuissa esiintyi yksittäisiä näkyviä vaurioita jotka eivät olleet lisääntyneet merkittävästi edellisen tutkimuksen jälkeen. Keskimääräinen karbonatisoitumisvyöhyke ei ollut saavuttanut julkisivuelementtien teräksiä. Lähivuosina on odotettavissa lähinnä yksittäisiä näkyviä teräskorroosiovaurioita.

Parvekerakenteissa teräskorroosio oli tutkimushetkellä alkava ongelma. Näkyviä korroosiovaurioita esiintyi paikoitellen parvekkeiden betonirakenteissa. Vauriot eivät olleet lisääntyneet merkittävästi edellisen tutkimuksen jälkeen. Terästen suojabetonipaksuudet olivat pääosin hyviä. Betonin karbonatisoitumisnopeus oli ollut pääosin normaali ja saavuttanut ainoastaan yksittäisiä pieliseinien etureunojen ja laattojen alapintojen teräksiä. Karbonatisoituneella alueella olevien terästen määrä ei ollut lisääntynyt merkittävästi edellisen tutkimuksen jälkeen. Lähivuosina on odotettavissa lähinnä yksittäisiä näkyviä korroosiovaurioita.

8.1.2 Kohde 2, Helsinki

Julkisivuelementeissä terästen korroosio ei tule olemaan merkittävä ongelma lähivuosina. Aikaisemman tutkimuksen peitepaksuusmittausten ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella ei ollut odotettavissa merkittäviä uusia korroosiovaurioita. Todetut näkyvät korroosiovauriot johtuivat yksittäisistä lähelle pintaa jääneistä teräksistä. Vau-

riot eivät olleet lisääntyneet merkittävästi aiemmasta tutkimuksesta. Kyseiset vauriot voivat jatkossa laajentua, mikäli niitä ei korjata. Sokkeleissa todettiin useita esiin ruostuneita teräksiä.

Parvekerakenteissa terästen korrosio ei tutkimushetkellä ollut merkittävä ongelma. Näkyviä vaurioita esiintyi jonkin verran pieliseinien liitosbetonointien kohdalla ja laattojen päissä sekä hieman laattojen alapinnoissa. Sateelle alttiiden laattojen päissä ja liitosbetonointien kohdalla vauriot olivat lisääntyneet edellisen tutkimuksen ajankohdasta. Aiemman tutkimuksen peitepaksuusmittausten perusteella terästen suojabetonipaksuudet olivat pääosin hyviä, kaiteiden ulkopinnoissa jonkin verran puutteellisia. Betonin karbonatisoituminen ei ollut edennyt merkittävästi aiemman tutkimuksen ajankohdasta, eikä se ollut saavuttanut kuin yksittäisiä teräksiä. Lähivuosina on odotettavissa lähinnä nykyisten vaurioiden etenemistä, mikäli niitä ei korjata.

8.1.3 Kohde 3, Hämeenlinna

Julkisivuissa terästen korrosio oli tutkimushetkellä jonkinasteinen ongelma. Näkyvät vauriot olivat lisääntyneet jonkin verran edellisen tutkimuksen ajankohdasta. Suojabetonipaksuuksien ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella teräskorroosiovauriot tulevat lähivuosina yleistymään elementtien reunoilla ja aukkojen pielissä. Halkeamien kohdalta voi lohjeta betonin kappaleita.

Alkuperäisissä parvekerakenteissa terästen korrosio oli tutkimushetkellä merkittävä ongelma. Näkyviä vaurioita todettiin jo aiemmassa tutkimuksessa yleisesti ja vauriot ovat edelleen lisääntyneet. Pieliseinissä suojabetonipaksuuksien ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella vauriot tulevat jatkossa edelleen lisääntymään ja voimistumaan. Aiemmassa tutkimuksessa todettiin, että kaiteiden ja laattojen betoni sisältää terästen korroosiota kiihdyttäviä klorideja. Teräskorroosion vuoksi kaiteista lohkeilevat betonin kappaleet ovat selvä turvallisuusriski.

Uudemmissa parvekkeissa ei havaittu teräskorroosiovaurioita.

8.1.4 Kohde 4, Vantaa

Sokkeleissa terästen korroosio oli tutkimushetkellä jonkinasteinen ongelma. Terästen peitepaksuudet olivat pääosin hyviä, mutta joitain teräksiä on melko lähellä sokkelin ulkopintaa. Betonin keskimääräinen karbonatisoitumisnopeus oli ollut normaalia tai normaalia nopeampaa. Näkyviä vaurioita esiintyi paikoitellen, mutta ne eivät olleet lisääntyneet merkittävästi edellisen tutkimuksen jälkeen. Karbonatisoituneella alueella olevien terästen määrä oli lisääntynyt jonkin verran edellisen tutkimuksen ajankohdasta, jolloin karbonatisoituneella alueella oli lähinnä yksittäisiä teräksiä. Lähivuosina on odotettavissa näkyvien korroosiovaurioiden jonkin asteista lisääntymistä.

Parvekerakenteissa teräskorroosio oli tutkimushetkellä jonkinasteinen ongelma. Näkyviä korroosiovaurioita esiintyi varsin yleisesti pieliseinissä sekä jonkin verran parveke-laatoissa. Vauriot olivat lisääntyneet edellisen tutkimuksen jälkeen, erityisesti pieliseinissä. Terästen suojabetonipaksuudet olivat keskimäärin hyviä, mutta osa teräksestä oli lähellä pintaa. Betonin karbonatisoitumisnopeus oli ollut normaali ja saavuttanut lähinnä yksittäisiä pieliseinien ja laattojen alapintojen teräksiä. Karbonatisoituneella alueella olevien terästen määrä oli hieman lisääntynyt edellisen tutkimuksen jälkeen. Lähivuosina näkyvät vauriot tulevat edelleen lisääntymään.

8.1.5 Kohde 5, Kerava

Julkisivuelementeissä terästen korroosio oli tutkimushetkellä jonkinasteinen ongelma. Terästen peitepaksuudet olivat yleisesti puutteellisia ja teräkset sijaitsevat lähellä taustabetonin ulkopintaa. Betonin keskimääräinen karbonatisoitumisnopeus oli ollut pääosin normaalia. Kenttätutkimuksissa ei havaittu kuitenkaan selkeitä näkyviä korroosiovaurioita. Keskimääräinen karbonatisoitumisvyöhyke oli saavuttanut jo lähes kaikki julkisivuelementtien verkko- ja reunateräkset. Karbonatisoituneella alueella olevien terästen määrä oli lisääntynyt edellisen tutkimuksen ajankohdasta, jossa karbonatisoituneella alueella teräksiä oli jo yleisesti. Lähivuosina on odotettavissa, että julkisivuelementeissä alkaa esiintyä kasvavassa määrin näkyviä korroosiovaurioita.

Parvekerakenteissa teräskorroosio oli tutkimushetkellä jonkinasteinen ongelma, lähinnä pieliseinien näkyvien vaurioiden osalta. Näkyviä korroosiovaurioita esiintyi jonkin verran pieliseinissä sekä muutamissa kohdin parvekekaiteissa. Vauriot eivät olleet lisääntyneet merkittävästi edellisestä tutkimuksesta, lukuun ottamatta pieliseiniä, joissa

näkyvät vauriot olivat lisääntyneet jonkin verran. Edellisen tutkimuksen peitepaksuusmittausten perusteella terästen peitepaksuudet olivat pääosin hyviä, yksittäisiä teräksiä oli lähellä pintaa. Betonin karbonatisoitumisnopeus oli ollut pääosin normaalia. Karbonatisoituneella alueella olevien terästen määrä ei ollut lisääntynyt merkittävästi edellisen tutkimuksen jälkeen ja se oli saavuttanut lähinnä yksittäisiä pieliseinien reunateräksiä. Lähivuosina on odotettavissa jonkin verran näkyvien korroosiovaurioiden lisääntymistä etenkin pieliseinissä ja kaiteissa. Pitkällä aikavälillä voi syntyä lähinnä yksittäisiä näkyviä vaurioita myös parvekelaatoissa, mikäli rakenteet pääsevät kastumaan.

8.1.6 Kohde 6, Pori

Julkisivuelementeissä terästen korroosio ei tutkimushetkellä ollut merkittävä ongelma. Julkisivuissa havaittiin siellä täällä yksittäisiä korroosiovaurioita, joista osa oli havaittu jo aikaisemman tutkimuksen yhteydessä. Peitepaksuusmittausten ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella jatkossa on odotettavissa lähinnä yksittäisiä uusia korroosiovaurioita. Lisäksi olemassa olevat vauriot voivat laajeta, mikäli niitä ei korjata.

Parvekerakenteissa terästen korroosio ei tutkimushetkellä ollut merkittävä ongelma. Parvekerakenteissa havaittiin muutamia korroosiovaurioita, lähinnä parvekepielissä. Korroosiovaurioiden määrä oli lisääntynyt aikaisempaan tutkimukseen verrattuna. Peitepaksuusmittausten ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella jatkossa parvekkeisiin on odotettavissa uusia korroosiovaurioita lähinnä parvekepielien sisäpintoihin ja parvekekaiteiden yläpintoihin, lisäksi yksittäisiä vaurioita voi syntyä myös muihin parvekerakenteisiin.

8.1.7 Kohde 7, Järvenpää

Parvekelaatoissa ja parvekekaiteissa ei tutkimushetkellä havaittu merkittävää teräskorroosiota. Pieliseinissä havaittiin silmämääräisesti teräskorroosion aiheuttamia vaurioita. Lähivuosina on odotettavissa, että teräskorroosio-vauriot pieliseinissä laajenevat ja uusia vaurioita ilmenee. Vaurioituminen tulee olemaan kiihtyvää.

8.1.8 Kohde 8, Oulu

Julkisivuissa terästen korroosio ei tutkimushetkellä ollut ongelma. Terästen suojabetonipaksuuksien ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella teräskorroosiovaurioita ei ollut odotettavissa myöskään lähivuosina. Sokkeleissa esiin ruostuneita teräksiä oli jonkin verran ja jatkossa vauriot tulevat edelleen lisääntymään.

Parvekerakenteissa terästen korroosiovaurioita oli paikattu huoltomaalauksen yhteydessä. Pieliseinien etureunoissa ja kaiteiden ulkopinnoilla esiintyi jonkin verran teräskorroosiovaurioita. Terästen suojabetonipaksuuksien ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella nykyiset vauriot tulevat jatkossa hieman lisääntymään ja voimistumaan, minkä vuoksi halkeamien kohdalta saattaa lohkeilla betonin kappaleita. Parvekelaatoissa ei tutkimushetkellä esiintynyt näkyviä teräskorroosiovaurioita, jatkossa laattoihin on odotettavissa vaurioita, mikäli betoni pääsee kastumaan.

8.1.9 Kohde 9, Pori

Julkisivuelementeissä terästen korroosio ei tutkimushetkellä ollut merkittävä ongelma. Julkisivuissa havaittiin jonkin verran korroosiovaurioita, mutta vauriot eivät olleet merkittävästi lisääntyneet aikaisempaan tutkimukseen verrattuna. Näytehavaintojen ja betonipeitepaksuusmittauksien perusteella betonin karbonatisoituneella alueella oli teräksiä, minkä vuoksi lähivuosina on odotettavissa jonkin verran myös uusia korroosiovaurioita. Lisäksi olemassa olevat vauriot voivat laajeta, mikäli niitä ei korjata.

Parvekerakenteissa terästen korroosio oli tutkimushetkellä ongelma lähinnä parvekepielien etureunoissa, joissa havaittiin teräskorroosiosta johtuvia halkeamia ja esiin ruostuneita teräksiä. Aikaisemmassa tutkimuksessa parvekepielissä ei vielä havaittu esiin ruostuneita teräksiä. Peitepaksuusmittauksien ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella parvekepielissä on odotettavissa uusia korroosiovaurioita sekä nykyisten vaurioiden etenemistä, erityisesti parvekepielien etureunoissa. Parvekelaatoissa teräskorroosio ei ollut ongelma ja niissä on odotettavissa lähinnä yksittäisiä korroosiovaurioita laattojen yläpinnoissa.

8.1.10 Kohde 10, Järvenpää

Kenttätutkimuksissa julkisivuissa havaittiin yksittäisiä esiin ruostuneita teräksiä ja teräskorroosion aiheuttamia halkeamia. Vauriot eivät olleet merkittävästi edenneet aiemman tutkimuksen jälkeen. Aikaisemman kuntotutkimuksen ja seurantakuntotutkimuksen yhteydessä tehtyjen laboratoriokokeiden ja peitepaksuusmittausten perusteella teräskorroosio ei ole merkittävä ongelma julkisivuissa lähitulevaisuudessa. Nykyisten vauriokohtien laajentumista ja yksittäisten uusien vaurioiden ilmenemistä voi kuitenkin tapahtua.

Seurantakuntotutkimuksen mukaan pielielementeissä havaitut laaja-alaiset ja pitkälle edenneet teräskorroosiovauriot ovat merkittävä ongelma. Myös yksittäisissä kaiteissa teräskorroosiovaurioita havaittiin runsaasti ja vauriot olivat paikallisesti pitkälle edenneitä. Paikalla valetuissa pieliseinissä teräskorroosiovaurioita havaittiin yksittäisiä. Parvekelaatoissa teräskorroosiovauriot keskittyivät laattojen yläpinnalle kaiteen viereen. Pielielementeissä vauriot olivat lisääntyneet aiemman tutkimuksen ajankohdasta. Peitepaksuusmittausten ja betonin karbonatisoitumistilanteen perusteella uusia vaurioita oli edelleen odotettavissa pielielementeissä ja kaiteissa. Myös nykyisten vaurioiden enustettiin laajenevan. Paikalla valetuissa pieliseinissä ja parvekelaattojen alapinnoissa oli odotettavissa jonkin verran näkyvien korroosiovaurioiden ilmenemistä. Lähivuosina pitkälle edenneet teräskorroosiovauriot voivat irrottaa betonikappaleita, jotka pudotessaan muodostavat turvallisuusriskin lähitöllä liikkuville. Aukollisten pielielementtien etureunojen pilarimaisissa osissa pitkälle edennyt teräskorroosio alkaa heikentää rakenteen kantavuutta.

Uudempien parvekkeiden laatoissa ja betemipilareissa ei havaittu teräskorroosiovaurioita, eikä merkittäviä korroosiovaurioita ole odotettavissa lähivuosinakaan

8.2 Johtopäätökset karbonatisoitumissyvyyksien vertailusta

Vertailututkimuksessa mukana olleiden 21 eri asuinkerrostalon ja 174 karbonatisoitumisesta tehdyn mittauksen mukaan on havaittavissa, että karbonatisoitumisen eteneminen toteumatulosten mukaan on hitaampaa kuin keskimääräisen karbonatisoitumiskertoimen avulla laskettu arvio. On kuitenkin huomioitava, että vertailutuloksissa on mukana huomattava määrä esim. betonin epähomogeenisuuden ja normaalin vaihtelun lukuun kuuluvia karbonatisoitumisen etenemisestä kuvaavia arvoja.

Seurantakuntotutkimuksissa ei lieriönäytettä yleensä oteta edellisen näytteen vierestä tai samasta elementistä. Edellisellä kerralla otettu näytelieriö on tutkittu kaikilta osin huolella, joten faktat näytteen ominaisuuksista ovat tiedossa. Eri asia on, mikäli rakenteessa on havaittu tuolloin lisätutkimuksen tai seurannan tarvetta edellyttäviä ongelmia.

Kuvaava esimerkki opinnäytetyössä käytetyn tutkimusmateriaalin soveltumattomuudesta pelkästään karbonatisoitumisen tutkimiseen on kohde 2. Seurantakuntotutkimuksen mittaustulosten mukaan karbonatisoituminen oli ylipäättään edennyt vain neljässä betonipinnassa yhdeksästä. Kyseisessä kahden erillisen asuinkerrostalon kohteessa näytelieriöt porattiin julkisivualueilta joista ei aikaisemmassa tutkimuksessa otettu näytteitä. Parvekkeiden osalta periaate oli aivan vastaava, pyrittiin tutkimaan rakenteita joista ei ollut aiempaa tutkimustietoa. Karbonatisoitumisen eteneminen voi kyseisessä tilanteessa olla todella vaihtelevaa.

8.3 Johtopäätökset muiden tekijöiden vaikutuksesta karbonatisoitumiseen

Betonirakenteissa jotka sijaintinsa tai rakennetyypinsä puolesta altistuvat kosteusrasitukselle, karbonatisoituminen etenee huomattavasti hitaammin, tämä seikka ilmenee varsin hyvin parvekelaattojen ylä- ja alapintojen karbonatisoitumisarvojen tarkastelussa, kosteudelle altis, pinnoittamatonkin yläpinta karbonatisoituu merkittävästi hitaammin kuin kuivahko alapinta. Tällöin on kuitenkin oleellista, että betoni muilta ominaisuuksiltaan kestää kosteusrasituksesta aiheutuvia vaurioitumismekanismeja, kuten pohjoisissa olosuhteissamme esiintyvää pakkasrapautumaa.

Muutamissa 1970-luvun alussa rakennetussa kohteessa on havaittavissa karbonatisoitumisen olleen huomattavan hidasta. Tutkimusten mukaan tämä voi selittyä tuolloin käytetyn sementin olleen karkeampaa ja sitä käytettiin määrällisesti enemmän. Betoniin jäi tällöin hydratoitumatonta sementtiä, joka ajan kuluessa on hidastanut karbonatisoitumisrintaman etenemistä.

Vastaavasti betoninormien kautta tullut yleinen laatuvaatimusten kehitys ja mm. vaatimukset julkisivurakenteissa käytettävän betonin lujuusluokasta alkavat näkyä tutkimuksessa mukana olleiden uusimpien rakennusten alhaisissa karbonatisoitumisarvoissa.

9 Yhteenveto

Vertailututkimuksen tulosten oikeellisuus on korkeintaan suuntaa antava muun muassa siksi, että opinnäytetyössä käytettyjen kuntotutkimusten ja seurantakuntotutkimusten alkuperäinen tavoite tai sisältö ei ole ollut tutkia julkisivu- ja parvekerakenteita vain karbonatisoitumisen etenemisen näkökulmasta. Vertailututkimuksen otannaksi kuntotutkimukset valikoituivat seurantakuntotutkimusten raportoinnin valmistumisajankohdan mukaan, joka oli sovittu tapahtuvaksi elokuussa 2015. Näin ollen opinnäytetyön aloituksen yhteydessä oli tutkimusaineistoksi käytettävissä yrityksen viimeisimmät tutkimusraportit sekä yksi sopiva tutkimusraportti kesältä 2014. Käytettävissä oli siis 10 tuoretta seuranta- ja 10 vanhaa kuntotutkimusraporttia, joita opinnäytetyön tavoitteen saavuttamiseksi pystyi riittävällä tarkkuudella hyödyntämään.

Karbonatisoitumisen etenemisen perusteellisen tutkimisen kannalta kohteilla tehtyjen kuntotutkimusten välinen keskimäärin 9 vuoden vertailuajanjakso jäi ilmeisen lyhyeksi. Karbonatisoitumisnopeus oli keskimäärin 35 vuotta vanhoissa betonirakenteissa jo todennäköisesti hidastunut siinä määrin, ettei lyhyellä aikajänteellä merkittäviä eteneviä ollut mitattavissakaan. Alun perin erilaisin tavoittein ja sisällöin toteutettujen kuntotutkimusten näytemäärää ei ymmärrettävästi mitoitettu kyseessä olleen vertailututkimuksen lähtökohtiin sopiviksi. Näin ollen vertailupohja jäi normaalin vaihtelun tasaamiseksi pieneksi, eikä varsinaisia vertaisnäytteitä tutkimusten yhteydessä otettu lainkaan.

Ajan neliöjuureen pohjautuvien karbonatisoitumismallien ja toteumatietojen vertailun luotettavuuden parantamiseksi tulisi näytemäärien olla huomattavasti suurempia ja näytteenottokohtien sijaita aivan edellisen tutkimuksen näytteenottokohtien vieressä. Vierekkäisten näytteiden otto on perusteltua, koska tutkimuksien mukaan karbonatisoitumisnopeuteen oleellisesti vaikuttavat betonin homogeenisuus- ja lujuusominaisuudet vaihtelevat suuresti jopa yksittäisen elementin sisällä. Karbonatisoitumista hidastaa merkittävästi myös betonin huokosverkoston täytyminen sadevedestä. Säärasitukselle alttiiden julkisivurakenteiden sijainnista ja mahdollisista valmistusvaiheissa suoritettavista betonipinnan käsittelyistä johtuen, saattaa karbonatisoitumisnopeus vaihdella suuresti etenkin betonirakenteen pintaosissa. Myös rakenteen ikääntyessä karbonatisoitumisnopeus yleensä hidastuu huomattavasti, tämä johtuu pääasiassa hiilidioksidin kulkeutumisen vaikeutumisesta syvemmälle betoniin.

Lähteet

- 1 *BY 42, Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2002.
- 2 *BY 42, Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2013*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2013.
- 3 Lahdensivu, Jukka – Varjonen, Seija – Köliö, Arto, *Betonirakenteiden korjausstrategiat*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 148. 2010.
- 4 Suomen Betoniyhdistyksen Internet sivut. *Yhdistys. Historiaa*. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/yhdistys/historiaa.html>
- 5 *BY 50, Betoninormit 2004*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2004.
- 6 Rakennusperintö.fi. *Betonijulkisivujen kuntotutkimus, korjaustavat ja niiden vaikutus rakennuksen arkkitehtuuriin*. Saatavissa: http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Betonijulkisivujen_kuntotutkimus/
- 7 Elementtisuunnittelu.fi Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/perustukset-ja-vaestonsuojat/sokkelielementit>
- 8 *BY 201, Betonitekniikan oppikirja 2004*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2004.
- 9 *Tilaaajan ohje 2014, betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2014.
- 10 *BY 211, Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1 2013*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.. 2013.
- 11 *Betoni – lehti nro 4 / 2007. Siirtyminen eurokoodeilla suunnitteluun alkoi*. Saatavissa: www.betoni.com/Download/22129/BET0704%20s68-69.pdf
- 12 *Osa 2: Betonirakenteiden suunnitteluperusteet*. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, betonteollisuus -jaosto. 2009. Saatavissa: http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet

