

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.

Tutkimusraportti 148

Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural Engineering.

Research Report 148

Jukka Lahdensivu, Saija Varjonen, Arto Köliö

Betonijulkisivujen korjausstrategiat



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.
Tutkimusraportti 148
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural
Engineering. Research Report 148

Jukka Lahdensivu, Saija Varjonen & Arto Köliö

Betonijulkisivujen korjausstrategiat

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos
Tampere 2010

ISBN 978-952-15-2331-1 (nid.)
ISBN 978-952-15-2717-3 (PDF)
ISSN 1797-9161

Lahdensivu Jukka, Varjonen Saija, Köliö Arto

Betonijulkisivujen korjausstrategiat

Tutkimusraportti 148, 79 s.

Tampere 2010

Hakusanat: betonijulkisivu, kuntotutkimus, raudoitteiden korroosio, pakkasrapautuminen, tietokanta, korjaustarve

Tiivistelmä

Tutkimuksessa koottu laaja BeKo-tietokanta koostuu betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimusraporteista kerätyistä tiedoista. Tietokanta sisältää kuntotutkimusraportissa esitetyjä tietoja 422 kohteen kuntotutkimuksesta. Käytännössä tietokannassa on noin 950 rakennuksen kuntotutkimustulokset, sillä useissa tutkimuksissa on tutkittu useampia rakennuksia yhtä aikaa. Yhden kohteen kuntotutkimusraporttiin on kirjattu 1 – 30 rakennuksen kuntotutkimusdata. Keskimääräisessä kuntotutkimusraportissa on 2,3 rakennuksen tiedot. Rakennukset ovat vuosilta 1960 – 1996.

Tutkimuksessa kehitetty vaurioitumisen ennakointisovellus mahdollistaa ennakoivaan kiinteistönpitoon siirtymisen, jolloin betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjauksiin on mahdollista varautua riittävästi sekä teknisesti että taloudellisesti ja tarvittavat korjaukset voidaan ajoittaa olemassa olevan rakenteen käyttöiän kannalta optimaalisesti. Toiminnan tavoitteena on vähentää ns. raskaiden, rakennusten ulkonäköä muuttavien korjausten määrää, joka samalla vähentää myös vaurioituneiden rakenteiden purkamistarvetta ja näin myös syntyvän purkujätteen määrää.

Rakennusten julkisivuissa silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 42,7 %:ssa tutkituista 811 rakennuksesta. Pääosin rapautumavauriot ovat paikallisia, 35,4 %, laaja-alaista pitkälle edennyttä rapautumaa esiintyy 7,3 %:ssa kohteista. 57,3 %:ssa tutkituista julkisivuista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita. Betonin pakkasenkestävyys poikkeaa eri julkisivun pintatyypeillä toisistaan huomattavasti. Huonoin pakkasenkestävyys on pesubetoni-, klinkkerilaatta- ja maalamattomalla muottipintaisella julkisivulla. Näissä julkisivun pintatyypeissä noin 50 %:ssa suojuhuokossuhde p_f on alle 0,10, eli niissä ei ole toimivaa suojuhuokostusta ollenkaan.

Tilanne on hyvin samantyyppinen parvekerakenteiden kohdalla, jossa piellelementtien pakkasenkestävyydessä on suurimmat puutteet. Betoniparvekkeissa silmämääräisesti havaittavia raudoitteiden korroosioaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 66,2 %:ssa tutkituista parveke-elementeistä. Pääosin korroosioauriot ovat paikallisia, 50,8 %, laaja-alaista korroosiota esiintyy kuitenkin 15,4 %:ssa kohteista. 33,8 %:ssa tutkituista parvekkeista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia korroosioaurioita.

Julkisivuissa raudoitteiden korroosioaurioita esiintyy eniten pieliteräksissä. Yleisesti voidaan todeta, että raudoitteiden korroosio on aiheutunut pienistä betonipeitepaksuuksista raudoitteiden kohdilla betonin karbonatisoitumisen seurauksena. Kloridikorroosiota esiintyy vain yksittäistapauksissa.

Tutkimuksessa selvitettiin kuntotutkimusten laajuutta sekä BeKo-tietokannan avulla (otetut näytemäärät) että kuntotutkijoiden haastatteluiden avulla. Kuntotutkimusten laajuudessa esiintyy huomattavan suurta hajontaa ja otetut näytemäärät ovat käytännössä noin 50 % Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 -ohjeen mukaisesta vähimmäismäärästä. Kuntotutkijoiden haastattelujen perusteella kenttätutkimukset pitäisi pystyä suorittamaan päivässä, toista päivää on käytännössä mahdotonta saada myytyä tilaajille. Usein korjaussuosituksia esitetään ns. varman päälle, jos on jouduttu tinkimään kuntotutkimuksen laajuudesta.

Lahdensivu Jukka, Varjonen Saija, Köliö Arto

Repair strategies of concrete facades and balconies

Research report 148, 79 p.

Tampere 2010

Keywords: concrete facade, condition investigation, corrosion of reinforcement, frost damage, database, repair need

Abstract

The wide database gathered during this research consists of information and measured data of condition investigation reports of 422 existing concrete buildings. In practise, the database contains the observations, measurements and results of about 950 buildings, because in several condition investigations report involves the information more than one building. In one condition investigation report consist of information from 1 – 30 buildings. In average report there is condition investigation information of 2,3 buildings. All buildings in the database are made during 1960 – 1996.

The aim of deterioration progression model developed during this project is help property owner recognise and prepare enough both technically and economically for becoming repairs. With the deterioration progression model it is possible to optimise, technically and financially, the best repair method and time for those repair actions. The aim is to promote using protective measures and avoid heavy repairs and waste production causing by demolition of structures.

Visually seen frost damage in facades can be seen in 42,7 % of investigated 811 buildings in the moment of condition investigation has been carried out. Mostly those mentioned frost damage are local, 35,4 %, far advanced and wide spread frost damage appears in 7,3 % of facades. In 57,3 % of facades there is any visually seen frost damage. Frost resistant of concrete varies a lot depending on the surface treatment of concrete panel. Exposed aggregate concrete, concrete with ceramic finishing tiles and painted patterned concrete the frost resistant is the worst of all concrete panels. About 50 % of these types of facades the protective pore coefficient p_r is less than 0,10. This means those facades are not frost resistant in typical Finnish outdoor climate.

The situation is very similar in balconies, where side walls have most lack in frost resistant. In concrete balconies visually seen corrosion damage can be noticed in 66,2 % in the moment of condition investigation has been carried out. Mostly those corrosion damage are local, 50,8 %, the amount of far advanced and wide spread corrosion damage appears is quite high, 15,4 % of all balconies. Only 33,8 % of investigated balconies are without visually corrosion damage.

In facades corrosion damage is most common in rebars situated near edges. In general, corrosion of reinforcement is caused by carbonation of concrete in places where cover depths of reinforcement is smallest. Steel corrosion caused by migration of chlorides is very rare; those can be found only individual cases.

Extent of made condition investigations were studied with the database and by interviewing those investigators. There is big divergence in the extent of condition investigations. Amount of samples taken during field investigations are about 50 % of minimum amount according Finnish guideline for condition investigation BY 2002. Based on interviews, field investigations must be able to carry out during one day, nobody buys the other one. The investigator must play safe with repair recommendations especially if the extent of investigation has been little.

ALKUSANAT

Betonirakenteiden korjausstrategiat – hankkeen (BeKo-tutkimus) tavoitteena oli lisätä kiinteistönomistajien tietämystä betonijulkisivurakenteiden toiminnasta, vaurioitumisesta ja korjausmahdollisuuksista. BeKo-tutkimus toteutettiin vuosina 2006 – 2009 Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksella.

Tutkimus perustuu laajaan olemassa olevien betonielementtirakennusten kuntotutkimuksista koottuun ainutlaatuiseseen aineistoon ja siitä tehtyihin analyysihin. Tärkeimpänä kehityskohdeena oli vaurioitumisen ennakointisovelluksen kehittäminen.

Tutkimus mahdollistaa ennakoivaan kiinteistönpitoon siirtymisen, jolloin betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjauksiin on mahdollista varautua riittävästi sekä teknisesti että taloudellisesti ja tarvittavat korjaukset voidaan ajoittaa olemassa olevan rakenteen käyttöiän kannalta optimaalisesti. Toiminnan tavoitteena on vähentää ns. raskaiden, rakennusten ulkonäköä muuttavien korjausten määrää, joka samalla vähentää myös vaurioituneiden rakenteiden purkamistarvetta ja näin myös syntyvän purkujätteen määrää. Ennakoivalla kiinteistönpidolla on mahdollista jatkaa nykyisten rakenteiden käyttöikä, edistää hyvää ja terveellistä asuinympäristöä, vähentää purkujätteen syntyä sekä välttää rakenteiden vaurioitumisesta aiheutuvia kantavuus- ja turvallisuusriskejä.

Tutkimus oli osa Ympäristöministeriön ympäristöklusterin tutkimusohjelmaa. Ympäristöministeriön lisäksi hankkeen rahoittajina toimivat tutkimustulosten tärkeimmät hyödyntäjät eli kiinteistönomistajat, joista mukana tutkimuksessa olivat VVO-Yhtymä Oyj, HOAS, Helsingin ATT, Espoonkruunu Oy, TVT Asunnot Oy, VAV Asunnot Oy, Tampereen Vuokratalosäätiö, Oulun Sivakka Oy, Niiralan Kulma Oy sekä Jyväskylän Vuokra-asunnot Oy.

Tutkimushanketta on johtanut prof. Matti Pentti ja tutkimusryhmän ovat muodostaneet tekn. lis. Jukka Lahdensivu, dipl.ins. Saija Varjonen, dipl.ins. Inari Weijo, dipl.ins. Ulla Marttila, dipl.ins. Anne-Mari Jokela sekä tekn. yo Arto Köliö. Haluamme kiittää kaikkia tutkimukseen osallistuneita yritysten ja ministeriön edustajia sekä tutkimuksen toteuttamiseen osallistuneita henkilöitä.

Tampereella 22.3.2010

Jukka Lahdensivu

Saija Varjonen

Arto Köliö

Sisällysluettelo

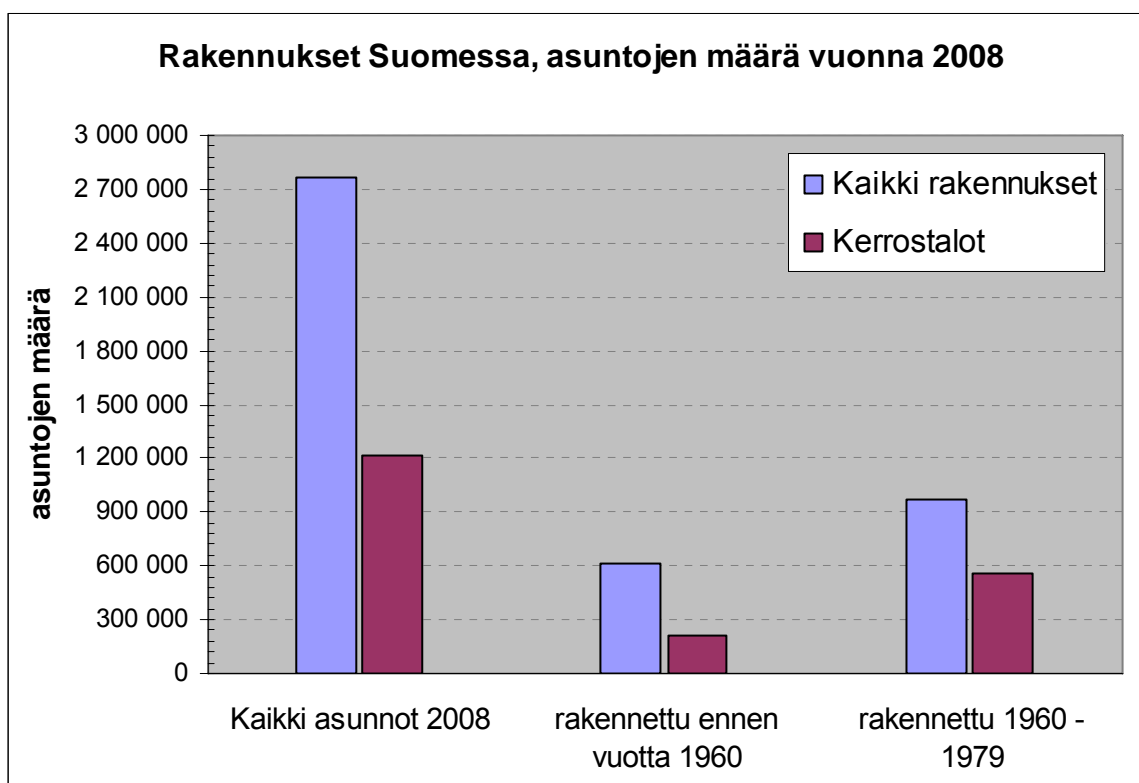
1	JOHDANTO	9
1.1	KERROSTALORAKENTAMINEN SUOMESSA	9
1.2	YLEISTÄ BEKO-TUTKIMUKSESTA	9
1.2.1	<i>Tavoitteet</i>	10
1.2.2	<i>Toimintatavat</i>	10
1.3	BETONIELEMENTTIKERROSTALON RAKENTEET	11
1.3.1	<i>Julkisivut</i>	11
1.3.2	<i>Parvekkeet</i>	12
2	TUTKIMUSAINEISTO	15
2.1	YLEISTÄ KUNTOTUTKIMUSTEN SISÄLLÖSTÄ	15
2.2	BEKO-TIETOKANTA	15
2.2.1	<i>Kuntotutkimusraportti tutkimusaineistona</i>	18
2.3	BEKO-TIETOKANNAN LUOTETTAVUUS	20
3	TIETOKANNASTA TEHDYT HAVAINNOT JA PÄÄTELMÄT	23
3.1	BETONIJULKISIVUJEN JA –PARVEKKEIDEN VAURIOITUMINEN	23
3.1.1	<i>Betonin pakkasrapautuminen</i>	23
3.1.2	<i>Suunnitteluohjeiden vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen</i>	26
3.1.3	<i>Raudoitteiden korroosio</i>	27
3.1.4	<i>Rakenteiden kiinnitysvarmuus</i>	31
3.1.5	<i>Muu vaurioituminen</i>	33
3.2	ERI KUNTOTUTKIMUSMENETELMIEN LUOTETTAVUUS	35
3.2.1	<i>Silmämääräinen tarkastelu</i>	35
3.2.2	<i>Betonin vetolujuuskokeet</i>	38
3.2.3	<i>Betonin suojahuokossuhde</i>	38
3.2.4	<i>Yhteenveto kuntotutkimusmenetelmien luotettavuudesta</i>	39
3.3	KUNTOTUTKIMUSTEN RIITTÄVYYS – VERTAILU BEKO-TIETOKANTAAN	40
3.3.1	<i>Kuntotutkimusten laajuuden arviointi näytemäärien mukaan</i>	40
3.3.2	<i>Kuntotutkimusten otanta vs. kuntotutkimuksessa suositeltu korjaustapa</i>	44
3.3.3	<i>Kuntotutkimusten otanta vs. rakenteen kunto</i>	46
3.3.4	<i>Yhteenveto kuntotutkimusten näytemääristä</i>	47
4	KUNTOTUTKIMUS KORJAUSTAVAN VALINNASSA	49
4.1	CASE-KOhteet	49
4.2	KIINTEISTÖSTRATEGIA	50
4.2.1	<i>Yleistä kiinteistöstrategioista</i>	50
4.2.2	<i>Kiinteistöstrategiat käytännössä</i>	51
4.2.3	<i>Rakenteen vaurioitumisen seuranta kuntoarvioilla ja kuntotutkimuksilla</i>	51
4.3	KUNTOTUTKIMUKSET	52
4.3.1	<i>Kuntotutkimusten rooli ja painoarvo</i>	52
4.3.2	<i>Kuntotutkimusten sisältö</i>	52
4.3.3	<i>Kuntotutkimusten perusteella annetut korjaussuositukset</i>	53
4.3.4	<i>Kuntotutkijan valinta</i>	53
4.4	KORJAUSTAVAN VALINTA	53
4.4.1	<i>Korjaustavan ja -ajankohdan valinta</i>	53
4.5	KUNTOTUTKIJAN AMMATTITÄIDÖLLÄ KESKEINEN MERKITYS KORJAUSTAVAN VALINNASSA	55
4.6	HYVÄT KÄYTÄNNÖT	57
5	KUNTOTUTKIMUKSET RAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKANA	59
5.1	SYSTEMAATTINEN TIEDON KERÄÄMINEN RAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKANA	59
5.1.1	<i>Suunnitteluvaihe</i>	60
5.1.2	<i>Rakennusvaihe</i>	61

5.1.3	<i>Kohdennettu kuntotutkimus</i>	61
5.1.4	<i>Perusteellinen kuntotutkimus korjaustarpeen määrittämiseksi</i>	62
5.1.5	<i>Korjaussuunnittelu</i>	62
5.1.6	<i>Korjausvaihe</i>	63
5.1.7	<i>Kiinteistönpito korjauksen jälkeen</i>	63
5.2	KUNTOTUTKIMUKSET OLEMASSA OLEVASSA RAKENNUSKANNASSA	63
5.3	KUNTOTUTKIMUKSEN KÄYTTÖIKÄ	64
6	BETONIJULKISIVUJEN JA –PARVEKKEIDEN KORJAUSTARPEEN ENNAKOINTISOVELLUS	67
6.1	ESITTELY	67
6.2	AINEISTO	67
6.2.1	<i>Aineiston ominaisuudet</i>	67
6.2.2	<i>Aineiston jäsentäminen</i>	68
6.2.3	<i>Vaurioitumisen arviointi</i>	69
6.2.4	<i>Pakkasrapautuminen</i>	69
6.2.5	<i>Raudotteiden korrosio</i>	71
6.2.6	<i>Korjausvaihtoehdot ja U-arvot</i>	73
6.3	SOVELLUS	74
6.3.1	<i>Yleistä</i>	74
6.3.2	<i>Asennus</i>	74
6.3.3	<i>Käyttö</i>	75
6.3.4	<i>Tiedon lisääminen</i>	76
7	JATKOTUTKIMUSTARPEET	77

1 JOHDANTO

1.1 Kerrostalorakentaminen Suomessa

Suomessa on 1960-luvulta lähtien rakennettu vuoteen 2005 mennessä noin 44 miljoonaa neliometriä betonijulkisivuja ja 975 000 parveketta (Vainio et al. 2005). Muuhun Eurooppaan verrattuna Suomen rakennuskanta on siten verrattain nuorta. Rakennuskannan nuoresta iästä huolimatta betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kunnossapidossa ja korjaamisessa on törmätty useisiin ongelmiin.



Kuva 1.1 Betonielementtikerrostalot muodostavat huomattavan suuren osuuden Suomen kerrostalokannasta (Tilastokeskus 2009).

Rakenteita vaurioittavat useat eri turmeltumisilmiöt, joiden etenemiseen puolestaan vaikuttavat monet rakenteelliset sekä olosuhde- ja materiaalitekijät. Näin ollen rakenteiden käyttöiät vaihtelevat käytännössä paljon. Rakenteisiin on syntynyt monesti odottamatonta ja teknisesti sekä kustannuksiltaan merkittävää korjaustarvetta jo varhain, jopa alle 10 vuoden iässä. Tästä syystä Suomessa on kehitetty viimeisen 15 - 20 vuoden aikana runsaasti aivan uutta tekniikkaa ja toimintatapoja betonirakenteiden kunnossapitoon ja korjaamiseen. Näitä ovat mm. maailmanlaajuisesti ainutlaatuinen rakenteiden kuntotutkimusmenettely ja sen laaja hyödyntäminen, erilaiset korjausratkaisut eri vauriotilanteisiin sekä laadukkaat korjaustuotteet ja korjausten toimiva rakennuttamismenettely.

Vauriotilanteen suuri vaihtelu eri talojen välillä sekä se, että merkittävimpiä vaurioita ei voi silmin havaita ennen kuin ne ovat edenneet hyvin pitkälle tekevät perusteellisen kuntotutkimuksen tarpeelliseksi useimmissa julkisivukorjauskohteissa.

1.2 Yleistä BeKo-tutkimuksesta

Suomen kansallisvarallisuudesta rakennetun ympäristön arvo on noin 300 miljardia euroa (Vainio et al. 2002). Rakentamisen ja kiinteistönpidon osuus Suomen bruttokansantuotteesta on yli 30 %. Betonijulkisivujen rationaalista korjaustoimintaa on harjoitettu noin viidentoista

vuoden ajan ja tänä aikana on korjattu kertaalleen arviolta noin 10 % 1960 - 1980 -lukujen betonijulkisivukannasta. Selvitysten mukaan betonijulkisivukannan raskaiden julkisivukorjausten määrä on noin 550 000 seinä-m² vuodessa (julkisivukorjausten markkinaselvitys, TTKK Rakentamistalous, 1999), joka yhdessä parvekekorjausten kanssa tarkoittaa vuosittain reilusti yli 170.000.000 euron vuosittaista korjauskustannusta kiinteistön omistajille ja siten myös niiden käyttäjille.

On huomattavaa, että korjaukset tehdään lähes poikkeuksetta projektiluonteisesti yksittäisinä korjauskohteina, jolloin rakenteita korjattaessa niiden todellisesta kunnosta ja vaurioitumiseen vaikuttaneista tekijöistä jatkuvasti kertyvää uutta tietoa ei ole kerätty yhteen. Tämän johdosta vilkkaasta korjaustoiminnasta huolimatta ei ole syntynyt riittävästi tietoa ja näkemystä mm. siitä, millainen olemassa olevan betonijulkisivukannan todellinen kunto on ja miten korjaustarve tulevaisuudessa kehittyy sekä siitä, mitkä tekijät ovat pohjimmiltaan olleet vaikuttamassa vaurioiden syntymiseen. Tätä tietoa voitaisiin hyödyntää mm. yhdyskuntarakenteen pitkäjänteisessä kehittämistyössä (mm. lähiökehitys, kaupunkikuvan muutosten hallinta), kunnossapidon kansantaloudellisten vaikutusten arvioimisessa sekä korjaustoiminnan ja kiinteistöjen ylläpidon elinkeinotason suunnittelussa ja päätöksenteossa (suunnittelu, urakointi, materiaaliteollisuus jne.) sekä uudisrakentamisessa pyrittäessä suunnittelemaan ja toteuttamaan uudet rakennukset siten, että aiemmin tehdyt virheet pyrittäisiin välttämään jatkossa.

1.2.1 Tavoitteet

BeKo-tutkimuksen tavoitteena oli lisätä kiinteistönomistajien tietämystä betonijulkisivurakenteiden toiminnasta, vaurioitumisesta ja korjausmahdollisuuksista. Tutkimuksen keskeisimpänä tavoitteena oli luoda työkaluja ja toimintamalleja, joiden avulla kiinteistönomistajat pystyvät ajoissa tunnistamaan kiinteistökannasta korjaukseen tulevat rakennukset, jolloin niihin voidaan soveltaa kevyempiä ns. säilyttäviä ja vanhan rakenteen käyttöikää lisääviä korjaustapoja.

Rakennusten korjaustarpeen ennakointi mahdollistaa ennakoivaan kiinteistönpitoon siirtymisen, jolloin betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjauksiin on mahdollista varautua riittävästi sekä teknisesti että taloudellisesti ja tarvittavat korjaukset voidaan ajoittaa olemassa olevan rakenteen käyttöiän kannalta optimaalisesti. Toiminnan tavoitteena on vähentää ns. raskaiden rakennusten ulkonäköä muuttavien korjausten määrää, joka samalla vähentää myös vaurioituneiden rakenteiden purkamistarvetta ja näin myös syntyvän purkujätteen määrää.

Ennakoivalla kiinteistönpidolla on mahdollista jatkaa nykyisten rakenteiden käyttöikää, edistää hyvää ja terveellistä asuinympäristöä, vähentää purkujätteen syntyä sekä välttää rakenteiden vaurioitumisesta aiheutuvia kantavuus- ja turvallisuusriskejä.

1.2.2 Toimintatavat

Tutkimuksen käytännön toimenpiteitä olivat mm.:

- Vaurioitumisen tunnistamisen kehittäminen
- Rakennuskannan teknisen korjaustarpeen ennakointimallin kehittäminen
- Korjaustavan valinnan systematisoiminen
- Toteutuneiden korjausten teknistaloudellisten riskien arviointi
- Kuntotutkimussystematiikan kehittäminen sekä
- Tiedon lisääminen kiinteistönomistajien keskuudessa.

Vaurioitumisen tunnistaminen. Betonirakenteiden vaurioitumisen tunnistaminen on keskeinen tekijä systemaattisen kunnossapidon ohjelmoimisessa. Aiemman tutkimustiedon ja kokemuksen sekä tutkimukseen osallistuvien tahojen kiinteistökannan pohjalta laaditusta tietokannasta on muodostettu rakenteiden vaurioitilaa kuvaavia jakaumia sekä eri vaurioiden ja muiden muuttujien keskinäisiä riippuvuuksia. Näiden tietojen perusteella laadittiin raportti,

jonka avulla on mahdollista ohjata kuntotutkimusten ja korjausten ajoitusta teknisessä ja taloudellisessa mielessä mahdollisimman optimaaliseen ajankohtaan.

Ennakointimalli. Vaurioitumisen ennakointimallin avulla on mahdollista tarkastella rakennuskannan vaurioitilannetta tällä hetkellä sekä arvioida vaurioitumisen etenemistä tulevaisuudessa. Ennakointimalli perustuu BeKo-tietokannasta saatuihin vauriojakaumiin.

Korjaustavan valinnan systematisoiminen. Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden tekninen korjaustarve on riippuvainen niissä jo esiintyvistä tai lähitulevaisuudessa tulossa olevista vaurioista. Käytettävissä olevat korjaustavat riippuvat rakenteiden vaurioitilanteen lisäksi mm. rakenne- ja julkisivupintatyypeistä sekä kohteen arkkitehtuurista. Ennakointimalliin laadittujen päätöspuiden avulla voidaan tarkastella rakennuskannan korjaustarpeita nyt sekä vaurioitumisen edetessä tulevaisuudessa.

Teknistaloudellisten riskien arviointi. Tehtyjen korjauspäätösten sisältämiä teknisiä ja taloudellisia riskejä selvitettiin BeKo-tietokannasta vaurioiden perusteella suositeltujen korjausvaihtoehtojen ja tehtyjen korjauspäätösten välistä riippuvuutta. Tätä täydennettiin muutamien juuri valmistuneiden julkisivukorjausten päätöksentekijöiden (tilaaja, korjaussuunnittelija ja valvoja) haastatteluilla. Näistä selvitettiin mm. millaisiin tutkimuksiin tai selvityksiin korjaustavan valinta perustui, mitkä ovat ensisijaiset tavoitteet korjaukselle jne. Tavoitteena oli mm. selvittää miten tieto saavuttaa päätöksentekijät ja kuka tekee lopulliset päätökset ja suunnitelmat eteen tulevaisuudessa ja yllättävissä tilanteissa.

Kuntotutkimusten kehittäminen. Tietokannan avulla saatiin selville tyypilliset betonirakenteiden korjaustarpeeseen johtaneet vauriomekanismit. Näihin perustuen laadittiin malli jatkuvan ja tarkentuvan kunnon seurantaan rakennuksen koko elinkaaren ajalle. Kunnon seurannan eräs keskeisimpiä kohtia on ensimmäisen ns. kohdennetun kuntotutkimuksen laajuus ja ajankohta, jonka tarkoitus on parantaa yhdessä ennakointimallin kanssa käytettynä rakennuskannan korjaustarpeiden ja -ajankohdan arvioimista. Tarkoituksena on ohjata kuntotutkimuksiin ja korjauksiin käytetyt rahat mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön.

Tiedon lisääminen. Tutkimukseen osallistuvien yritysten ja muiden toimijoiden tietämyksen lisääminen betonijulkisivurakenteiden toiminnasta, vaurioitumisesta ja korjausmahdollisuuksista on ollut mahdollista hankkeeseen aktiivisesti osallistumalla.

1.3 Betonielementtikerrostalon rakenteet

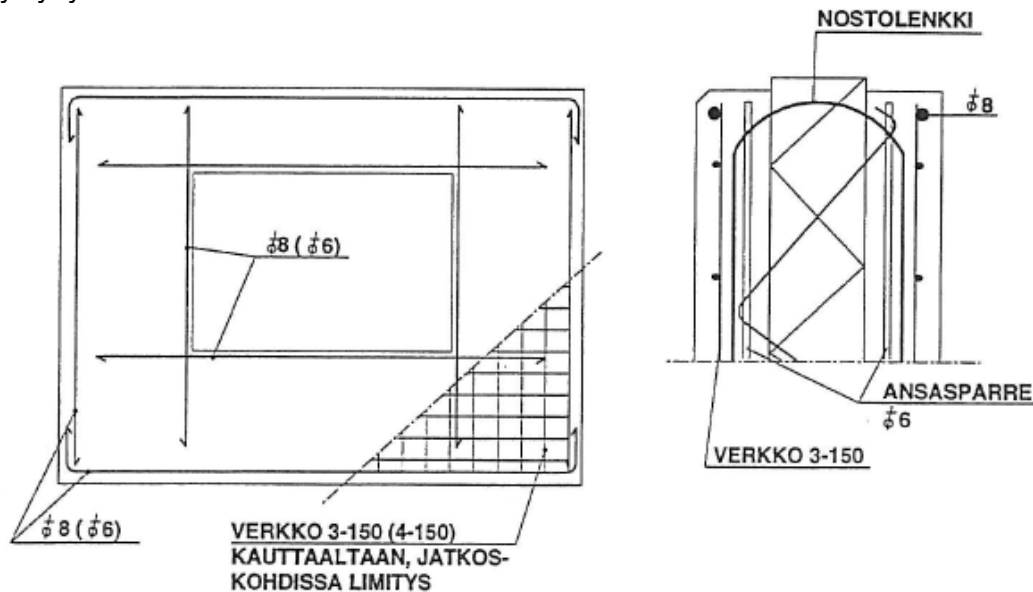
1.3.1 Julkisivut

Betonielementtirakennuksen julkisivuina on yleisesti käytetty ns. sandwich-elementtejä, joka muodostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta joiden välissä on lämmöneriste. Sandwich-rakenteessa betoni ulkokuori tukeutuu eristekerrosten läpäisevien ansaiden tai muiden teräsosien tai muiden metalliosien välityksellä sisäkuoreen. Sisäkuori voi olla joko kantava rakenne tai vain itsensä kantava ns. ruutuelementti. Tyypillisesti kantavia sandwich-elementtejä on käytetty rakennusten päädyissä ja ruutuelementtejä rakennuksen pitkillä sivuilla.

Sandwich-elementin nimellispaksuus on yleisesti vaihdellut välillä 40 - 85 mm. Rakennepaksuuteen ovat vaikuttaneet erityisesti valmistusajankohta ja julkisivun pintatyyppi. Käytännössä ulkokuoren paksuus on vaihdellut huomattavasti myös saman tuotantoerän kesken. Syinä ovat olleet mm. lämmöneristeen kokoonpuristuminen, erilaiset työvirheet ja betonin notkeuden vaihtelut. Sisäkuoren paksuus on tyypillisesti kantavissa rakenteissa 150 - 160 mm ja ruutuelementeissä 70 - 100 mm.

Lämmöneristeenä on yleisimmin käytetty mineraalivillaa (lasi- tai kivivillaa), jonka nimellispaksuus on vaihdellut välillä 70 - 150 mm rakennusmääräysten kulloinkin edellyttämien U-

arvojen mukaisesti. Lämmöneristetilaa ei ole tyypillisesti ollenkaan tuuletettu tai tuuletusta on pyritty saamaan aikaan käyttämällä ulkopinnastaan uritettua lämmöneristettä. Uritettua lämmöneristettä käytettiin erityisesti klinkkerilaattapintaisissa elementeissä, joissa tiiviit klinkkerilaatat estävät rakenteen kuivumisen ulospäin. Uritetun lämmöneristeen käyttö myös muiden pintatyyppien kanssa yleistyi 1980-luvun lopulla. Urituksen toimivuutta ei kuitenkaan ole aina pystytty varmistamaan.



Kuva 1.2 Tyypillinen julkisivuelementin ulkokuoren rauditus.

Tyypillisesti sandwich-elementeissä on ulkokuoren raudoituksena keskeinen verkko ja sen lisäksi reunoilla ja aukkojen pielissä pysty- ja vaakasuuntaiset pieliteräkset. Varsinaisen raudituksen lisäksi ulkokuoreen on sijoitettu sideansaiden paarteet sekä erilaisia sideteräksiä ja nostolenkkejä. Ulkokuoren rauditus on tyypillisesti ollut tavanomaista ruostuvaa harjaterästä. Vain sideansaiden diagonaalit ovat olleet ruostumatonta terästä pääasiassa jo 1960-luvun lopusta lähtien. Ruostumattomat raudoitteet koko ulkokuoren raudoituksessa ovat yleistyneet 1990-luvun lopulla. Nostolenkit ovat kuitenkin usein edelleen ruostuvasta teräksestä valmistettuja.

Ulkokuoren kiinnitys sisäkuoreen on tehty tyypillisesti noin 600 mm jaolla olevin sideansain, joissa ruostumattomasta teräksestä valmistettu jatkuva ansadiagonaali on hitsaamalla liitetty seostamattomiin paarettankoihin. Myös paarettangot ovat olleet jo pitkään ruostumatonta laatua. Elementtirakentamisen alkuaikoina ulkokuoren liittämiseen sisäkuoreen käytettiin jonkin verran erilaisia betonoituja, bitumoituja tai muulla tavoin suojattuja betoni- tai muototëräksiä tai esimerkiksi kuparisiteitä.

1.3.2 Parvekkeet

Betoniparvekkeet ovat yleensä joko rakennuksen runkoon tukeutuvia ulokerakenteita tai rungon ulkopuolisia itsekantavia elementtirakenteisia ns. torneja tai erilaisin ripustuksin kannatettuja ns. kontteja. Parvekkeita on tehty myös erilaisina sekamuotoina, joissa kannatustavat sekä paikallavalu ja esivalmisteiset osat vaihtelevat. Esimerkiksi osittain itsekantavia ja osittain rungosta kannatettuja parvekkeita on tehty.

Omilla perustuksilla seisovat parveketornit ovat yleisimmin käytetty parveketyyppi. Elementtiparvekkeet on usein tuettu kantavien pieliseinien, pilarien tai ulkoseinän kantavan ulkokuoren välityksellä perustuksilleen. Näin muodostuva parveketorni voi olla rakennuksen rungosta ulkoneva tai sisäänvedetty. Rakennuksen ulkopuoliset parveketornit ovat olleet yleisin parvekera-kenne 1960-luvun lopulta alkaen.



Kuva 1.3 Omilla perustuksilla olevia parveketorneja.

Parvekelaatat on tyypillisesti tuettu pieliseiniin ja sidottu tappi- tai pulttiliitoksin, harjaterästartuntojen ja -lenkkien avulla tai hitsausliitoksin. Parvekelaattojen päät ovat joko pieliseiniin ulkopinnan tasalla tai tukeutuvat alapuolisen pielielementin yläpään muodostettuun ns. hyllyyn, jolloin ne eivät näy ulospäin. Elementtiliitokset on juotettu notkealla betonilla tai sementtillaastilla.

Parveketornit on sidottu sivusuunnassa kaatumisen estämiseksi kerroksittain pieliseinistään poikittaisiin väliseiniin tai parvekelaatoista välipohjalaattoihin. Sidonta poikittaisiin väliseiniin on tehty hitsausliitoksin esimerkiksi lattateräsosien (ruostumattomiakin lattateräksiä on käytetty) tai harjaterästartunkojen avulla. Seostamattomien kiinnikkeiden eristetilassa oleva osuus voi olla esimerkiksi betonoitu. Parvekelaatan ja välipohjan välinen sidonta on voitu tehdä ulkoseinän läpi menevillä latta- tai pyöröteräskiinnikkeillä (esimerkiksi ruostumaton teräs) tai parvekesaranoilla (ruostumaton tai kuumasinkitty teräs). Parvekesarana siirtää siihen kohdistuvat vaakavoimat, mutta sallii lattateräskiinnikettä paremmin parvekkeen pystysuuntaiset liikkeet.

Elementtiparvekkeet on yleensä tehty ilman varsinaista vedeneristystä. Kallistukset on tavallisesti muotoiltu laattaan muotin avulla (valu ylösalaisin). Erillistä kallistusbetonia on käytetty harvoin. Vedenpoisto voi olla järjestetty suoraan laatan ja kaiteen välistä alas, ulosheittoputken välityksellä tai syöksytorven avulla. Hallitsematon tai huonosti toimiva vedenpoisto on voinut nopeuttaa vaurioiden syntymistä alapuolisissa betonirakenteissa, erityisesti pielielementeissä.

Elementtiparvekkeissa kaikki rakenneosat on tyypillisesti toteutettu betonielementeistä. Elementtirakenteinen parveke voi muodostua erillisistä laatta- ja kaide-elementeistä tai laatta ja kaide on voitu valmistaa yhteenvalettuina. Kaiteiden kiinnitys on voitu toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- kaide on valettu yhteen parvekelaatan kanssa
- kaide ja laatta on sidottu toisiinsa muototeräsulokkein ja hitsausliitoksin

- kaide ja laatta on kiinnitetty toisiinsa muototerästen ja pulttiliitosten avulla.

Pielielementit ovat yleensä noin 150 - 180 mm paksuja betonilevyjä, joissa on usein raudoitteena vain elementin reunoja kiertävät ns. rengasteräkset. Alimmat elementit voivat olla verkkoraudoitettuja törmäyskuormien varalta. Pielielementit siirtävät parveketornin pystykuormat perustuksiin. Pielielementit voivat olla myös **pilareita**, jolloin ne ovat poikkileikkaukseltaan yleisesti 180 x 180 mm² ja siitä ylöspäin. Myös suorakaiteen muotoiset pilarit ovat mahdollisia.

Pielielementit ja pilarit toimivat parvekerakenteen kantavina osina, joten näiden vaurioituminen saattaa pitkälle edenneenä vaikuttaa rakenteen kantavuuteen sekä turvallisuuteen. Betonin pakkasenkestävyys on ollut parvekkeiden rasitusolosuhteisiin nähden monesti riittämätön. Pilarit ovat yleisesti pieliseiniä hoikempia rakenteita, joten pilarien pakkasrapautuminen on rakenteen kantavuuden kannalta suurempi riski kuin pieliseinien rapautuminen.

Laattaelementit, joiden paksuus on noin 140 - 200 mm on kannatettu pielielementtien päältä. Parveketornien vaakasidonta rakennuksen runkoon on toteutettu laatasta tai pielestä tulevilla tartuntaosilla rakennuksen runkoon. Laattaelementtien alapinta on voimakkaasti raudoitettu ja peitepaksuudet ovat usein pieniä. Vaikka sateelta suojattu laatan alapinta karbonatisoituu suhteellisen nopeasti, korrosio on yleensä hyvin hidasta, mikäli rakenteen kosteustekninen toimivuus on hyvä.

Laattaelementtien asennuksessa on käytetty joko teräs- tai vanerikorokkeita, joilla laatta on saatu asennettua oikeaan korkeuteen. Nämä asennuspalat aiheuttavat usein niiden päälle tehdyn ohuen betonipinnan rikkoutumisen.

1960-luvun tuotannossa laatan yläpinnassa saatettiin käyttää vedeneristettä. Myöhemmässä elementtituotannossa vedeneristettä ei ole enää käytetty. Mikäli vedeneristys on kunnossa, rakenteen vauriot ovat yleensä vähäisiä.

Kaide-elementtien kiinnitys vaihtelee mm. parvekkeen vedenpoistotavan mukaan. Kaideelementti voi olla samaa valua laatan kanssa tai kaide-elementin on kiinnitetty hitsaus- tai pulttiliitoksella pielielementteihin.

Kaide-elementin paksuudet ovat olleet noin 60 - 100 mm ja ne ovat paksuuteensa nähden yleensä melko runsaasti raudoitettuja. Korjausten kannalta on huomattava, että joissakin tapauksissa kaide-elementti voi toimia myös laattaa kantavana osana.

Kaide-elementit on monesti raudoitettu molemmista pinnoista. Tämän ja ohuen rakennepaksuuden vuoksi betoniterästen suojabetonipeite on usein jäänyt erittäin pieneksi. Kaideelementeissä esiintyykin lähes poikkeuksetta teräskorroosiota jo 20 vuoden ikäisissä taloissa.

2 TUTKIMUSAINEISTO

2.1 Yleistä kuntotutkimusten sisällöstä

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimus on systemaattinen menetelmä, jolla saadaan selville vanhan rakenteen kunto, vaurioiden eteneminen tulevaisuudessa sekä suositellut korjaustoimenpiteet. Kuntotutkimusten sisältö on määritetty Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 -ohjeessa. Sen mukaan tutkimuksen sisältö määräytyy kohderakennuksen ominaisuuksien (rakennetyyppien, materiaalien, rasitusolosuhteiden sekä jo näkyvien vaurioiden) ja tutkimukselle asetettujen tavoitteiden perusteella. Kuntotutkimuksen sisältö onkin suunniteltava aina erikseen kullekin kohteelle (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Vanhan rakenteen kunnon tutkimiseen liittyy aina epävarmuutta, sillä tiedot kerätään otoksina ja rakenteen ominaisuudet ja kunto vaihtelevat rakenteen eri osissa. Kuntotutkimuksessa on pyrittävä keräämään rinnakkaisia tietoja mahdollisimman monesta lähteestä. Rinnakkaisien menetelmien käyttäminen helpottaa tulosten arviointia ja parantaa johtopäätösten luotettavuutta (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Kuntotutkimuksessa rakennusosan tai rakennusosakokonaisuuden kunto ja toimivuus sekä korjaustarve selvitetään systemaattisesti eri vauriotapojen suhteen käyttäen erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita ovat mm. suunnitelma-asiakirjojen tarkasteleminen, kohteen silmä-määräinen tarkasteleminen, erilaiset kentällä tapahtuvat mittaukset ja tutkimukset sekä näytteenotto ja laboratoriotutkimukset. Tarkoituksena on saada selville tutkimushetkellä olemassa olevien vaurioiden syyt, laajuus ja vaikutukset sekä tämän lisäksi ennakoida myös tulevaisuudessa syntyvät vauriot jo siinä vaiheessa, kun varsinaisia näkyviä vaurioita ei ole olemassa. Tiedot kerätään otoksina ja rakenteen ominaisuudet sekä kunto vaihtelevat rakenteen eri osissa. Siten vanhan rakenteen kunnon tutkimiseen liittyy aina epävarmuutta, jota pyritään pienentämään käyttämällä vauriotapojen tutkimiseen rinnakkaisia menetelmiä ja keräämällä tietoja mahdollisimman monesta lähteestä.

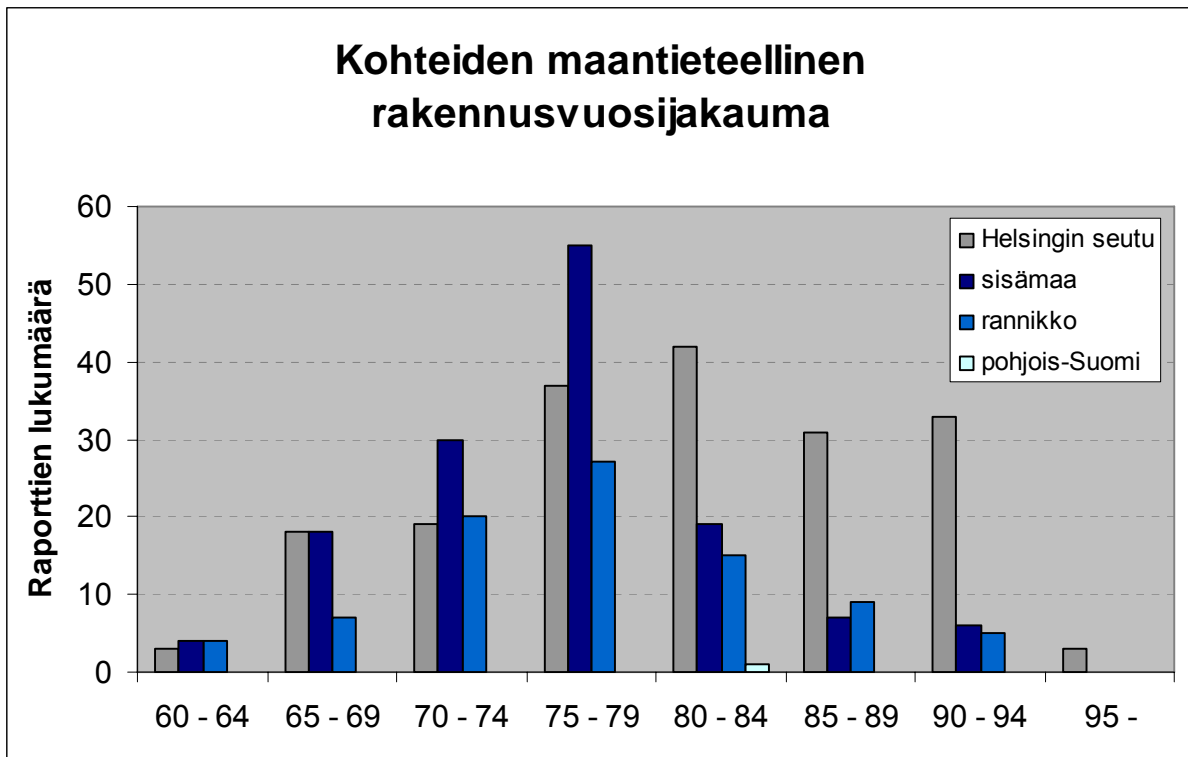
2.2 BeKo-tietokanta

Tutkimuksessa koottu BeKo-tietokanta koostuu betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimusraporteista kerätystä tiedosta. Kuntotutkimusraportteja on kerätty tähän tutkimukseen osallistuneilta kiinteistönomistajilta sekä kuntotutkimuksia tekeville insinööritoimistoilta ja Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselta. Tietokanta sisältää kuntotutkimusraportissa esitettyjä tietoja 422 kohteen kuntotutkimuksesta. Käytännössä tietokannassa on noin 950 rakennuksen kuntotutkimustulokset, sillä useissa tutkimuksissa on tutkittu useampia rakennuksia yhtä aikaa. Yhden kohteen kuntotutkimusraporttiin on kirjattu 1 – 30 rakennuksen kuntotutkimusdata. Keskimääräisessä kuntotutkimusraportissa on 2,3 rakennuksen tiedot.

Maantieteellinen sijainti

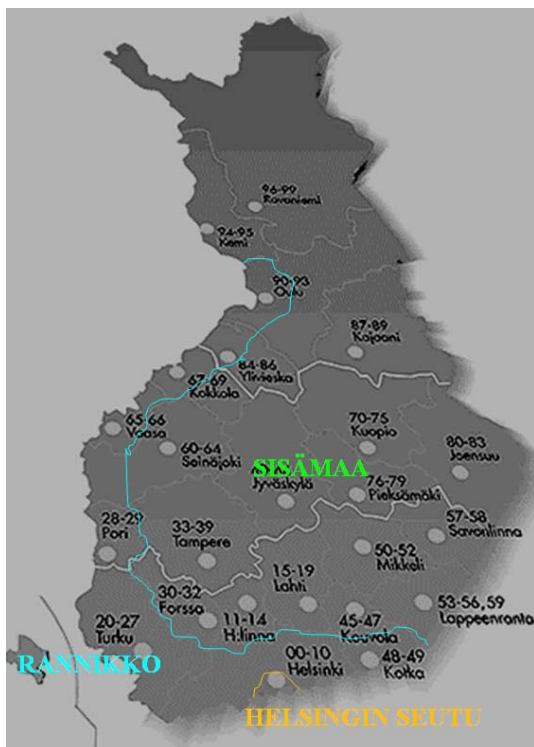
Tietokannan rakennukset on jaettu maantieteellisen sijainnin mukaan neljään ryhmään:

- Helsingin seutu
- Sisämaa
- Rannikko
- Pohjois-Suomi.



Kuva 2.1 BeKo-tietokannan rakennusten maantieteellinen jako rakennusvuosittain.

Rakenteiden ominaisuuksien tarkastelussa todettiin, että maantieteellisellä sijainnilla ei ole merkitystä betonirakenteiden ominaisuuksiin. Betonielementtien valmistus on siten ollut hyvin tasalaatuista koko Suomessa. Vaurioitumisnopeudessa on eroja, joka tulee esiin lähinnä kuntotutkimusajankohdan perusteella. Rannikkoalueella ja Helsingin seudulla kuntotutkimuksia tehdään hieman nuorempaan rakennuskantaan kuin sisämaassa. Tästä syystä rakenteiden vaurioitilanteen tarkastelussa sekä vaurioitumisen ennakkoinnissa kohteiden maantieteellinen jako on tehty kolmeen kokonaisuuteen kuvan 2.2 mukaisesti.

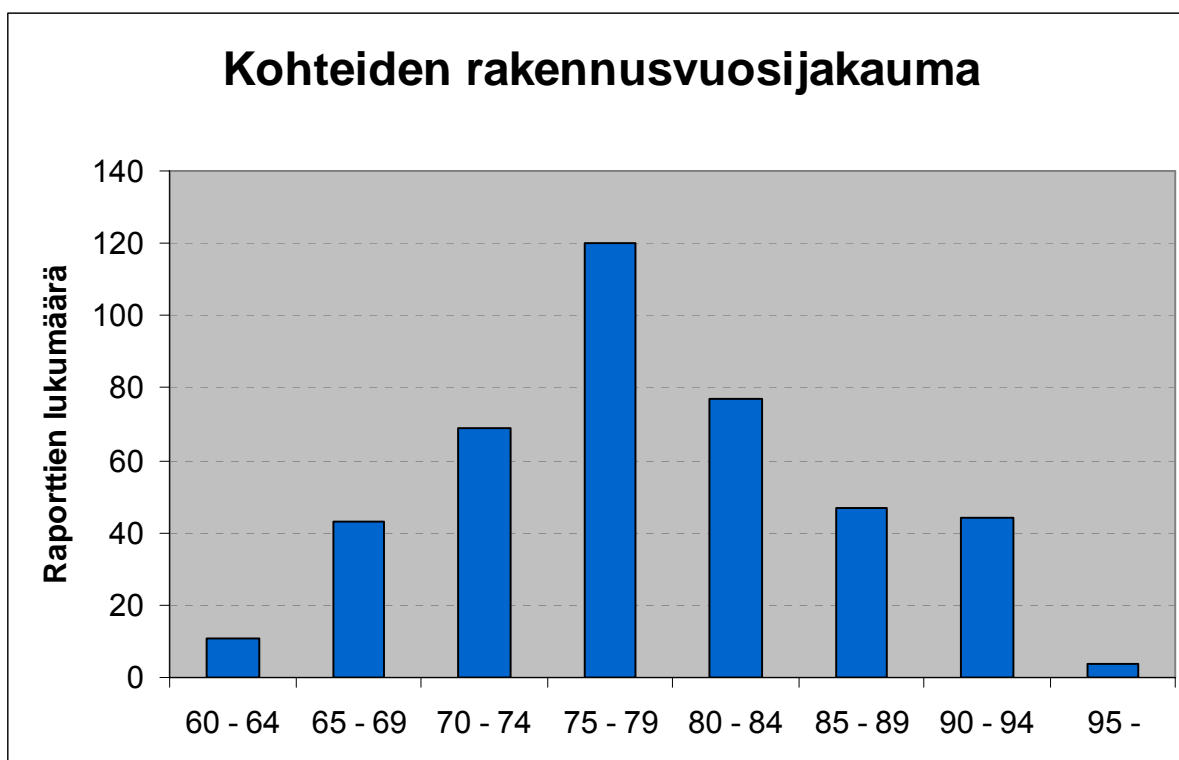


Kuva 2.2 BeKo-tietokannassa vaurioitumisen tarkastelussa ja etenemisessä käytetty maantieteellinen jako.

Sisämaa kattaa pinta-alaltaan huomattavan suuren osan kokonaisuudesta. Tähän jakoon on johtanut edellä mainittujen seikkojen lisäksi Pohjois-Suomen rakennusten huomattavan pieni osuus BeKo-tietokannassa. Näin myös Pohjois-Suomen pieni rakennuskanta on saatu mukaan laajempaan tarkasteltavaan kokonaisuuteen.

Rakennusvuosijakauma ja julkisivun pintatyypit

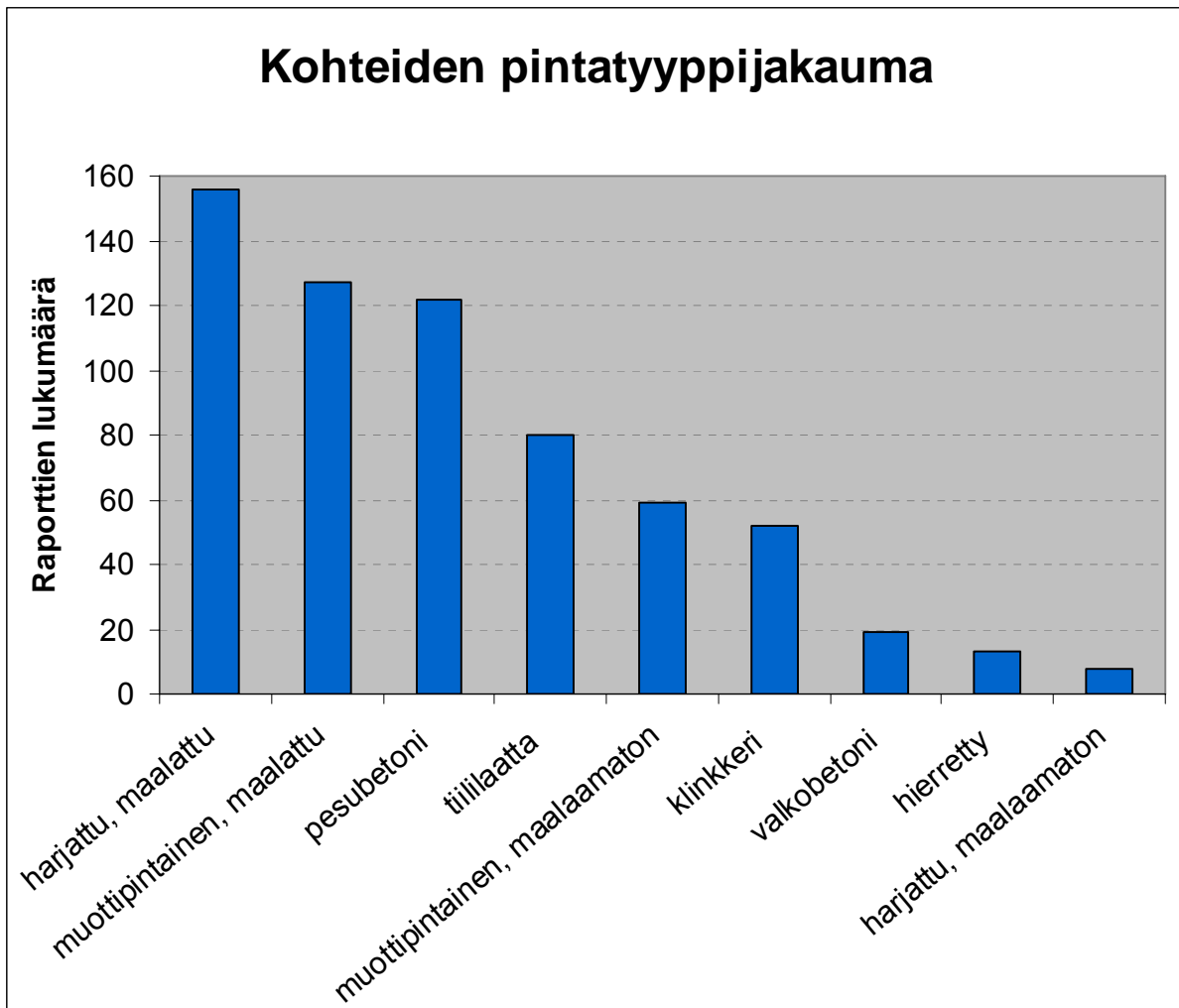
BeKo-tietokannan kohteet on rakennettu välillä 1960 – 1996. Suurin osa kohteista on rakennettu 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa. Rakennusajankohdan mukaisesti tietokannan rakennuksissa korostuvat aikakaudelle tyypilliset julkisivutyypit pesubetoni sekä maalipintainen harjattu julkisivu. Kuvan 2.4 julkisivupintatyypijakauman mukaan myös maalattuja muottipintaisia elementtejä on paljon. Ne kaikki ovat kuitenkin vain osia joistain muista rakennuksista, joiden pääasiallisena julkisivupintana on esimerkiksi pesubetoni tai jokin muu yleisesti käytetty julkisivutyyppi. Maalattut muottipintaiset julkisivut ovat yleisesti maanpäällisen sokkelikerroksen tai porrashuoneen julkisivuelementtejä. Näitä on kuitenkin koko tietokannassa paljon, joten ne on tässä yhteydessä otettu omaksi ryhmäkseen.



Kuva 2.3 BeKo-tietokannan kohteiden rakennusvuosijakauma.

Todellisessa rakennuksessa on tyypillisesti vähintään kahta erilaista julkisivutyyppiä edellä esitetyn esimerkin mukaisesti. On myös mahdollista, että yhdessä elementissä esiintyy kahta erilaista pintatyyppiä. Tyypillinen esimerkki on klinkkerilaattainen elementti, jonka reunoilla on sileää maalamatonta muottipintaista betonia. Tällaisissa tapauksissa rakenteen vaurioitumista tulee tarkastella erikseen useamman julkisivupintatyyppin vauriomekanismien mukaisesti, jotta kokonaisuus selviää. Yhden julkisivupintatyyppin ominaisuuksista ja vaurioitumisesta ei siis voi eikä saa tehdä päätelmiä toiseen.

Parvekkeiden kohdalla tilanne on sikäli yksiselitteisempi, että pintatyyppinä on käytännössä vain maalattu muottipintainen betoni. BeKo-tietokannassa parvekkeet on esitetty rakenteittain: piellelementit, laatat ja kaiteet.



Kuva 2.4 Tietokannan rakennusten julkisivupintatyyppijakauma.

2.2.1 Kuntotutkimusraportti tutkimusaineistona

Kuntotutkimusraportit sisältävät runsaasti yksityiskohtaista informaatiota yksittäisistä kuntotutkimuskohteista. Raportteihin tallennetaan koko tutkimusaineisto ja kirjataan kaikki silmämääräiset havainnot sekä perustiedot rakennuksesta. Tutkimusaineisto sisältää kaikki laboratoriokokeiden tulokset, kuten suojahuokos- ja vetolujuuskokeiden tulokset ja näytteiden mittatiedot sekä kentällä tehdyt mittaukset, kuten peitepaksuusmittaukset. Näiden lisäksi raportin liitteenä ovat usein mm. ohuthieanalyysiraportti sekä sauma-aineen tutkimustulokset kokonaisuudessaan. Tutkimustulosten lisäksi raportista löytyy paljon informaatiota rakennuksesta itsestään, rakenne- ja pintatyypeistä sekä esimerkiksi rakennusvuosi. Mitä uudemmas kuntotutkimusraportista on kyse, sitä enemmän se yleensä sisältää myös valokuva-aineistoa yksittäisistä vauriokohdista sekä yleiskuvia kohteesta, joista saadaan paljon tekstissä mainitsematta jäänyttä yleistietoa. Raportista löytyy aina myös kuntotutkijan arvio ja perustelut kuntotutkimuskohteeseen sopivista korjausvaihtoehdoista.

Kuntotutkimusraporttien sisältö on useimmiten pääkohdiltaan samantyyppinen, mutta yhteisestä kuntotutkimuskonseptista (Betoniulkisivun kuntotutkimus 2002) huolimatta raporttien sisältö on hieman eri muodossa johtuen jo tutkimuskohteiden erilaisuudesta sekä eri kuntotutkimuksia tekevien insinööritoimistojen käytännöistä. Jotta niiden tarjoama informaatiota voitaisiin verrata toisiinsa, tieto on ensin pitänyt kerätä yhteen verrattavissa olevaan sähköiseen muotoon. Tätä varten on tehty erillinen lähtötietolomake, johon tiedot kerätään. Valtaosa kuntotutkimustiedosta on paperimuodossa kuntotutkijoiden tekemässä raportissa, joten

	A	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	IMERKINTÄ	Maalipinnan hilseily	Laatan veden eristys	Korjaustapa-suositukset	Kaiteen kiinnitystapa	Kaiteen ulkopinnan pintakäsittely	Ilman suunta	Vaaka sijainti	Pakkasrapautumiseen viittaavaa halkeilua	Ilmahuokoset	Huokosten täyteisyys
1	1	Ei ole	Ei ole	Ei tehdä mitään	Yhteen valettu	Maalattu	Pohjoinen	Rakennuksen reunassa	Ei ole	Pakkasenkestävää betonia, huokosten etäisyys toisistaan ≤ 0,25 mm	Ei ole
2	2	Paikallista	On	Pinnoitus ja rasitustason alentaminen (vedenpoistot ym.)	Muototeräsulokkeet + hitsaus	Pesubetoni	Koillinen	Rakennuksen keskellä	Alkavaa. Halkeamalevydet < 0,01 mm ja halkeamat < 10 mm pitkiä.	Osittain puuttellinen huokostus, huokosetäisyys 0,25-0,40 mm	Alkavaa täyttymistä, yksittäisiä pieniä kristalleja
3	3	Laaja-alaista		Laastipaikkaus ja pinnoitus	Muototeräsulokkeet + puultiliitos	Klinkkeripintainen	Itä		Yleistä. Halkeamalevydet 0,01-0,1 mm ja halkeamat ≥ 10 mm pitkiä. Esiintymistiheys < 0,25 kpl/m ² ja < 50 % runkoaineesta "irti"	Epäonnistunut huokostus, huokosetäisyys ≥ 0,40 mm tai ei tarkoituksellista huokostusta, mutta paljon pieniä ilmahuokosia (Ø < 1 mm)	Jatkuvaa, ympyrämaista täyteisyttä. Kerrostuman paksuus 0,01-0,05 mm
4	4			Peittävä verhoukorkorjaus		maalamaaton	Kaakko		Runsasta. Useat halkeamat > 0,1 mm leveydeltään ja > 25 mm pituudeltaan. Esiintymistiheys ≥ 0,25 kpl/m ² tai ≥ 50 % runkoaineesta "irti"	Ei ilmahuokostusta, satunnaisia ilmahuokosia havaittavissa. Tyypillisesti ilmapiitoisuus ≤ 2 %	Paljon täyteisyttä, huokosissa systemaattisesti > 0,05 mm paksuista kerrostumaa
5	5			Uusiminen kokonaan		tiililaattapintainen	Etelä				
6	6					harjattu	Lounas				
7	7					valkobetoni	Länsi				
8	8						Luode				
9	9						Välipieli				

Kuva 2.6 Sanallisen tiedon luokitteluperusteet (Weijo 2008).

2.3 BeKo-tietokannan luotettavuus

BeKo-tietokantaan on kerätty kuntotutkimusaineistoa tutkimukseen osallistuvilta kiinteistönomistajilta sekä kuntotutkimuksia tekevilta insinööritoimistoilta sekä Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselta. Tutkitut kohteet edustavat tavanomaisia suomalaisia asuinrakennuksia. Kohteita ei ole millään tavalla erikseen valittu tähän tutkimukseen, vaan ne on koottu em. yritysten arkistosta ja siten edustavat sellaisenaan varsin hyvin suomalaista betonielementtitalokantaa.

Kuntotutkimusten tekijät

Suurin osa tietokantaan kootuista kuntotutkimuksista on joko Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen tutkijoiden tai Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n kuntotutkijoiden tekemiä. Muiden insinööritoimistojen tekemät kuntotutkimukset ovat selvästi vähemmistönä. Tällä asialla voi periaatteessa olla merkitystä kuntotutkimusten perusteellisuuden (laajuuden) suhteen sekä havainnoista ja mittauksista tehtyjen päätelmien suhteen, mikäli eri yrityksillä on erilaisia korjaussuositusfilosofioita. Tätä asiaa tarkastellaan tarkemmin kohdissa 3.3 Kuntotutkimusten riittävyys – vertailu BeKo-tietokantaan ja 4.3 Kuntotutkimukset.

Itse havaintojen ja erilaisten mittausten tekemiseen vaikuttavat ensisijaisesti kuntotutkijoiden ammattitaito sekä käytettävät tutkimusmenetelmät. Yleisesti ottaen kuntotutkimukset suoritetaan Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 -ohjeen mukaan, joten tältä osin menetelmät ovat yhdenmukaisia kaikilla toimijoilla ja mittauksia sekä kenttätutkimushavaintoja voidaan pitää luotettavina.

Näkyvät vauriot

Koko tietokannassa olevista rakennuksista julkisivuissa on kuntotutkimushetkellä ollut silmämääräisesti havaittavia joko paikallisia tai laaja-alaisia korroosiovaurioita 59,2 % ja vastaavasti pakkasrapautumista 42,7 % tapauksista. Nämä havainnot on kirjattu 811 kohteesta. Toisaalta sellaisia kohteita, joissa silmin havaittavaa vaurioitumista ei kuntotutkimushetkellä ole ollut ollenkaan on 40,8 % ja 57,3 %.

Kuntotutkimuksia on siis tehty sekä sellaisiin rakennuksiin, joissa on voitu jo silmämääräisellä tarkastelulla havaita vaurioitumista mutta huomattavan suuri osa kohteista on ollut silmämääräisesti virheettömiä. Tällä perusteella voidaan olettaa, että tietokannan rakennukset edustavat varsin keskimääräistä suomalaista betonielementtikantaa.

Vauriomekanismit toisistaan riippumattomia

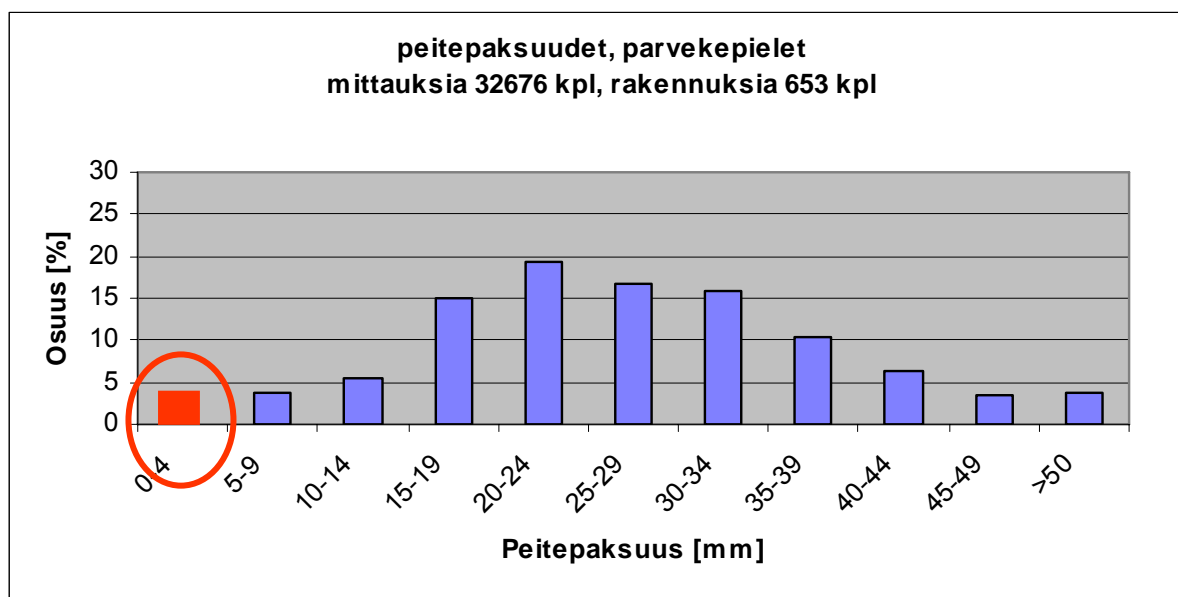
Betonirakenteiden yleisimmät vauriomekanismit raudoitteiden korroosio sekä betonin pakkasrapautuminen ovat toisistaan riippumattomia ilmiöitä. Kohteissa, joissa esiintyy joko alkaa tai laaja-alaista pakkasrapautumista tai betonin pakkasenkestävyys on puutteellinen, ei välttämättä ole ollenkaan raudoitteiden korroosiota tai sitä esiintyy vain hyvin vähän ja päinvastoin.

Tietokannan eri rakennuksissa ja rakennusosissa esiintyy kumpaakin vauriomekanismia koko Suomessa paikallisesta rasitustasosta riippuen enemmän tai vähemmän. Tarkasteluissa ei havaittu mitään systemaattisuutta vaurioiden olemassaoloon jollakin alueella materiaali- ja rakenneominaisuuksista johtuen. Tällä perusteella aineisto on riippumaton.

Raudoitteiden peitepaksuusmittaukset

Raudoitteiden peitepaksuusjakaumassa alle 5 mm peitepaksuuksien osuus on huomattavan pieni. Käytännössä kenttätutkimuksissa alle 5 mm peitepaksuuksia ei kirjata, sillä useassa mittarityypissä mittauslukema < 5 ei jää näkyviin ja se kirjataan 5 mm peitepaksuiksi. Toisen ja ehkä merkittävämpi syy ovat näkyvät korroosiovauriot, jotka tulevat ensimmäisenä esiin pienimpien peitepaksuuksien kohdilla. Näitä peitepaksuuksia ei siis kuntotutkimuksessa mitata, vaan näkyvien korroosiovaurioiden määrä arvioidaan joko silmämääräisesti tai mitataan juoksumetreinä.

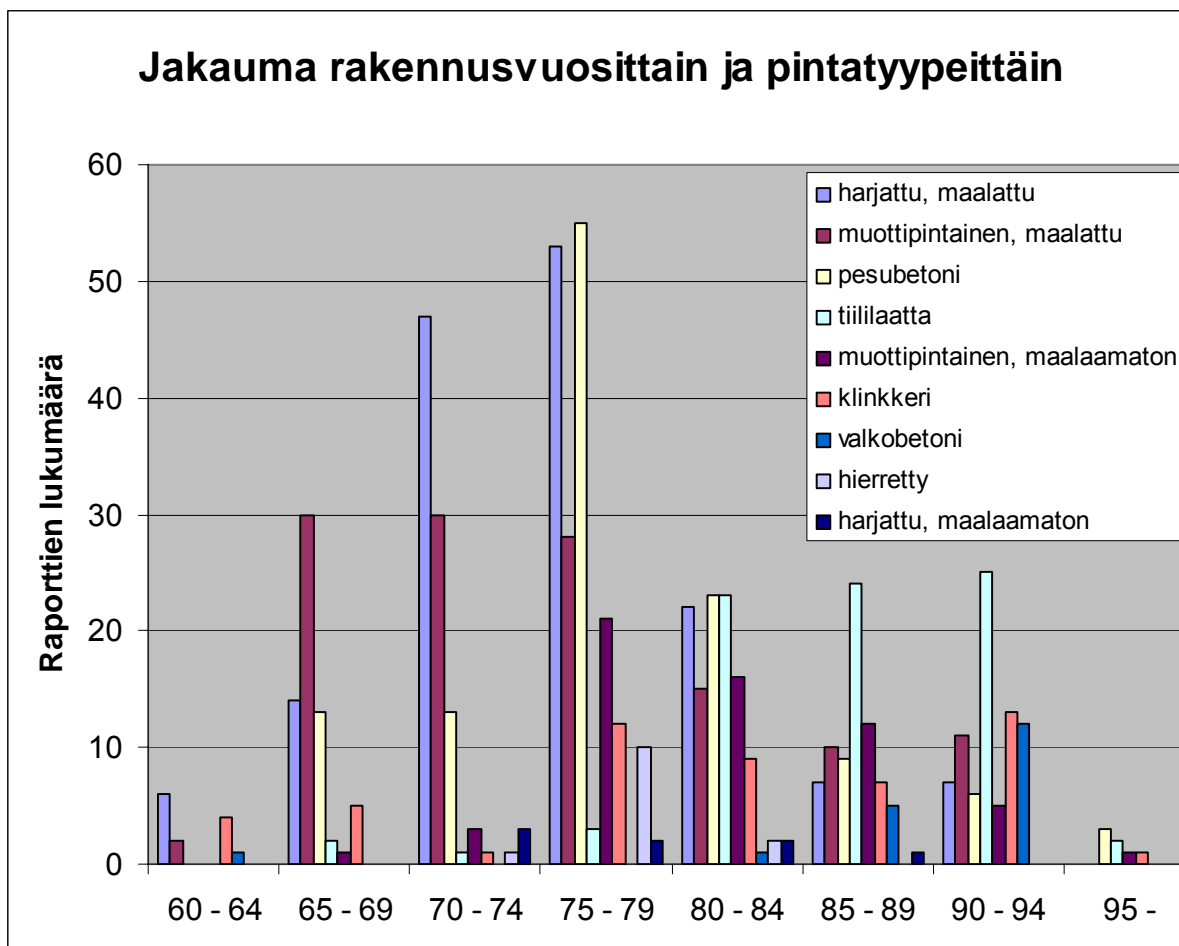
Raudoitteiden peitepaksuusjakaumassa on virhettä mittavälillä 0 – 4 mm, koska niitä ei käytännön syistä mitata. Kuvassa 2.7 on punaisella pylväällä arvioitu parvekerakenteiden kaikkein pienimpien peitepaksuuksien osuutta. Käytännössä korjaustavan valinnan arvioimisessa sekä BeKo-ennakointisovelluksessa puuttuvat pienet peitepaksuudet otetaan huomioon näkyvien korroosiovaurioiden määränä.



Kuva 2.7 Koko tietokannan parvekepielien peitepaksuusjakauma. Punaisella pylväällä on arvioitu pienimpien peitepaksuuksien osuus näkyvien korroosiovaurioiden perusteella.

Julkisivujen pintatyyppi- ja rakennusvuosijakauma

Kuten kuvan 2.8 kuvaajasta voidaan todeta, kaikkia julkisivupintatyyppejä ei esiinny jokaisessa viisivuotiskaudessa. Erityisen vähän rakennuksia on vuosilta 1960 - 1964 sekä 1995 ja siitä eteenpäin. Tietokannan käyttökelpoisuus ja luotettavuus ovat parhaimmillaan tarkasteltaessa rakennuksia, jotka on rakennettu vuosina 1965 – 1994. Tältä osin tietokannassa on kaikki tyypillisimmät kyseisen aikakauden julkisivupintatyypit hyvin edustettuina.



Kuva 2.8 Tietokannan rakennusten julkisivupintatyyppijakauma rakennusvuosittain.

3 TIETOKANNASTA TEHDYT HAVAINNOT JA PÄÄTELMÄT

3.1 Betonijulkisivujen ja –parvekkeiden vaurioituminen

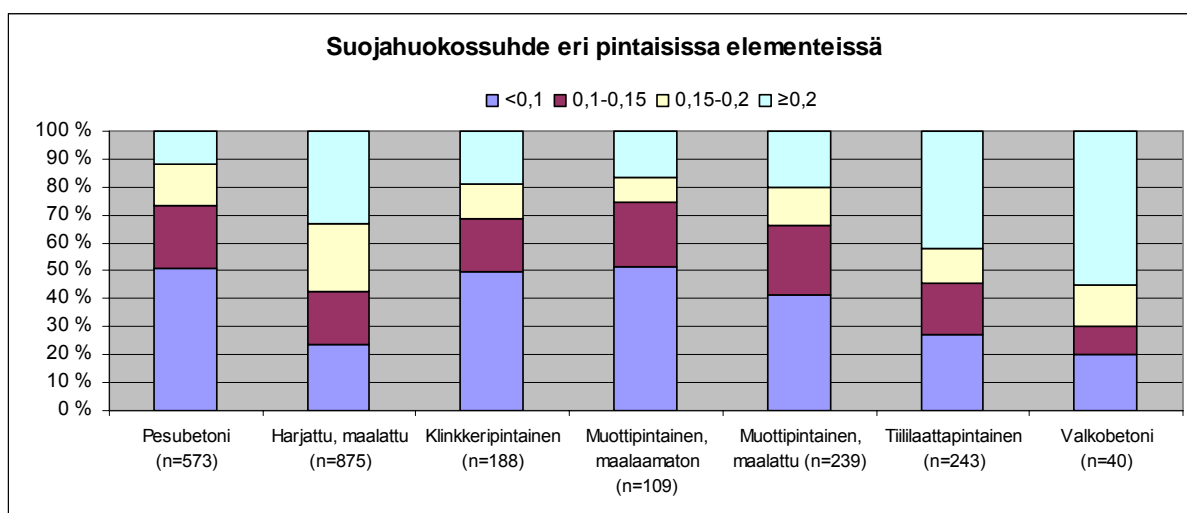
Tässä luvussa esitetään yhteenkoottuna merkittävimmät havainnot koko tietokannan rakennuksista sekä julkisivujen että parvekkeiden vaurioitumisen osalta.

3.1.1 Betonin pakkasrapautuminen

Julkisivut

Silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 42,7 %:ssa tutkituista 811 rakennuksessa. Pääosin rapautumavauriot ovat paikallisia, 35,4 %, laaja-alaista pitkälle edennyttä rapautumaa esiintyy 7,3 %:ssa kohteista. 57,3 %:ssa tutkituista julkisivuista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita.

Betonin pakkasenkestävyys poikkeaa eri julkisivun pintatyypeillä toisistaan kuvan 3.1 mukaisesti. Huonoin pakkasenkestävyys on pesubetoni-, klinkkerilaatta- ja maalamattomalla muottipintaisella julkisivulla. Näissä julkisivun pintatyypeissä noin 50 %:ssa suojahuokossuhde p_r on alle 0,10, eli niissä ei ole toimivaa suojahuokostusta ollenkaan.



Kuva 3.1 Suojahuokossuhdejakaumat eri julkisivupintatyypeissä (Jokela 2008).

Parhaiten betonin huokostus on onnistunut maalipintaisessa harjatussa betonissa sekä tiillaattapintaisessa ja valkobetoni-julkisivuissa. Näissä betoninormien vaatimuksen $p_r \geq 0,20$ ylittää 32 %, 41 % ja 54 % näytteistä vastaavassa järjestyksessä.

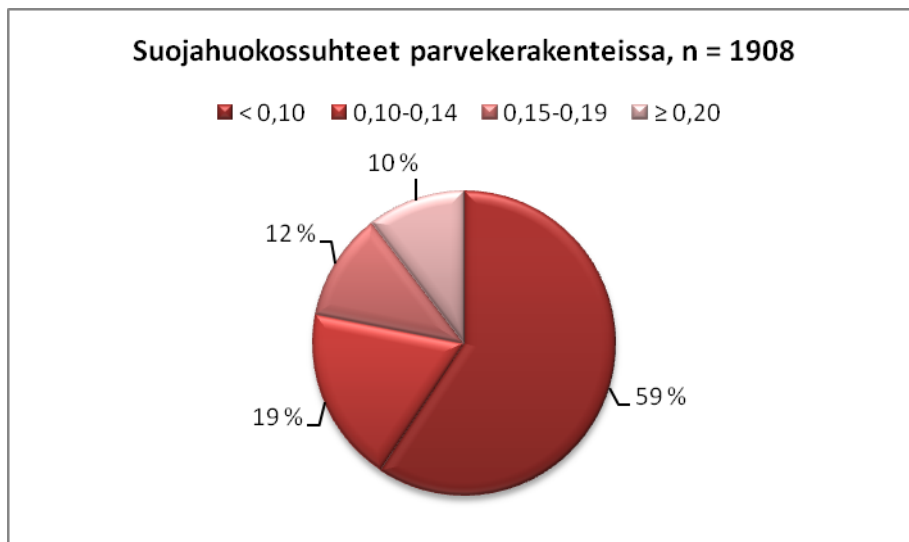
Tyypillisintä pakkasrapautuminen on pesubetonijulkisivuissa. Pesubetonin pinnassa ei ole sadeveden imeytymistä hidastavia kerroksia kuten maalipintaa tai tiili- ja klinkkerilaattoja, joten betonin huokosverkosto myös kastuu sateella helposti. Pesubetonijulkisivuissa esiintyy eniten sekä paikallisia että laaja-alaisia pakkasrapautumavaurioita muihin julkisivutyyppeihin verrattuna.

Parvekkeet

Silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 27,4 %:ssa tutkituista 925 rakennuksessa. Pääosin rapautumavauriot ovat paikallisia, 21,8 %,

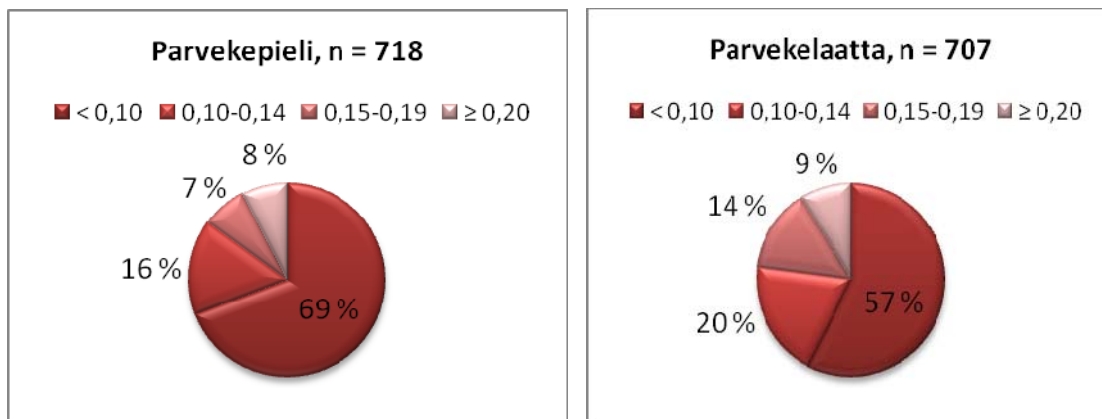
laaja-alaista pitkälle edennyttä rapautumaa esiintyy 5,6 %:ssa kohteista. 72,5 %:ssa tutkituista parvekkeista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia rapautumavaurioita.

Koko tietokannan kaikista parvekerakenteista (pielielementit, laatat ja kaiteet) 59 %:ssa suojuhuokossuhde p_r on alle 0,10, eli niissä ei ole ollenkaan toimivaa suojuhuokostusta. Betonin pakkasenkestävyys täyttää betoninormien vaatimuksen vain 10 %:ssa parvekkeista ($p_r \geq 0,20$)

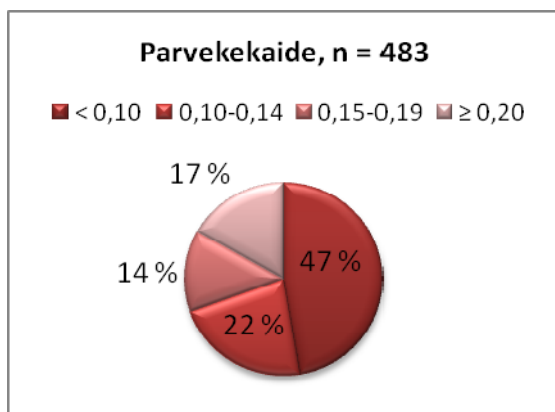


Kuva 3.2 Suojahuokossuhdejakaumat koko tietokannan parvekerakenteissa (Weijo 2008).

Pakkasenkestävyyden suhteen tilanne on huonoin parvekkeen pielielementeissä, joista 69 %:ssa suojuhuokossuhde p_r on alle 0,10. Vastaavasti laatoissa 57 % ja kaiteessa 47 %.

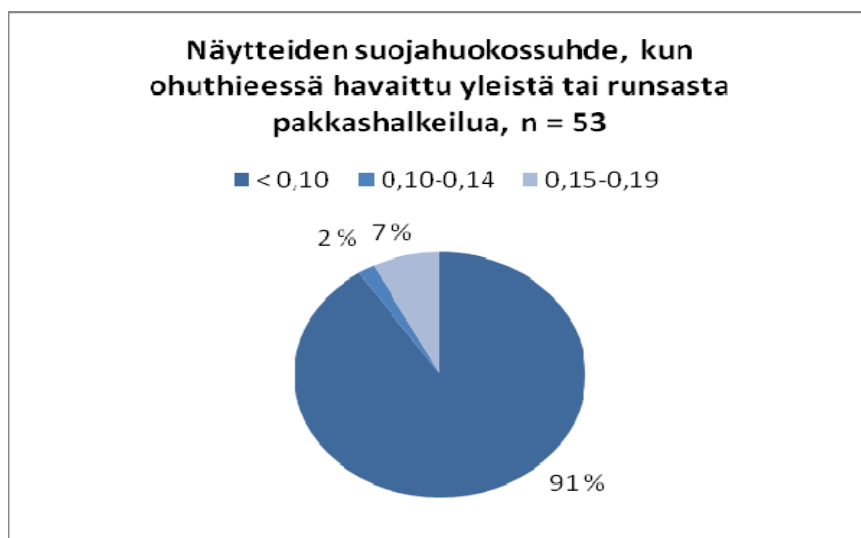


Kuva 3.3 Suojahuokossuhdejakaumat parveke pielissä ja laatoissa (Weijo 2008).



Kuva 3.4 Suojahuokossuhdejakaumat parvekekaiteissa (Weijo 2008).

Niissä näytteissä, joissa suojahuokossuhde on ollut hyvin alhainen, on suurella todennäköisyydellä havaittu myös pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa tarkemmillä tutkimusmenetelmillä tarkasteltuna. Tapauksissa, joissa suojahuokossuhde p_r on ollut $\geq 0,20$ ei rapautumaa ole esiintynyt. Betoninormien vaatimuksen täyttävä betoni on siten ollut riittävän hyvin pak-
 kaskenkestävä.



Kuva 3.5 Ohuthietutkimuksella havaittu pitkälle edennyt pakkasrapautuminen suojahuokossuhdeiden jakaumana parvekerakenteissa (Weijo 2008).

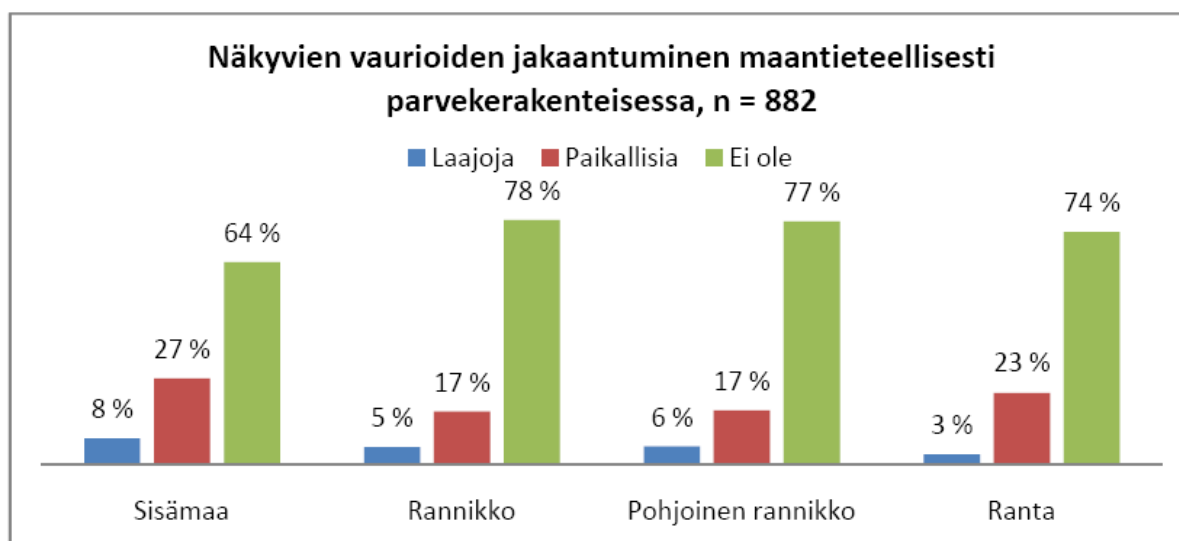
Tyypillisimmin pakkasrapautumaa on havaittu parvekkeiden piellelementtien etureunoissa, jotka saavat eniten viistosaderasitusta sekä usein myös paikallisesti korkeaa kosteusrasitusta huonosti toimivan vedenpoiston muodossa.



Kuva 3.6 Tyypillistä parvekkeen piellelementin etureunan pakkasrapautumaa.

Betoniparvekkeiden huonosta pakkaskenkestävyydestä huolimatta pitkälle edennyttä silmin havaittavaa pakkasrapautumista on kuntotutkimushetkellä esiintynyt tilanteeseen nähden melko vähän. Ehjällä maalipinnalla on ollut merkittävä sadeveden imeytymistä betonin huokosverkkoon hidastava vaikutus. Tämä vahvistaa aiempia tutkimustuloksia, joiden mukaan laastipaikkauskorjauksilla ja sadeveden imeytymistä hidastavilla ns. suojaavilla maalipinnoit-

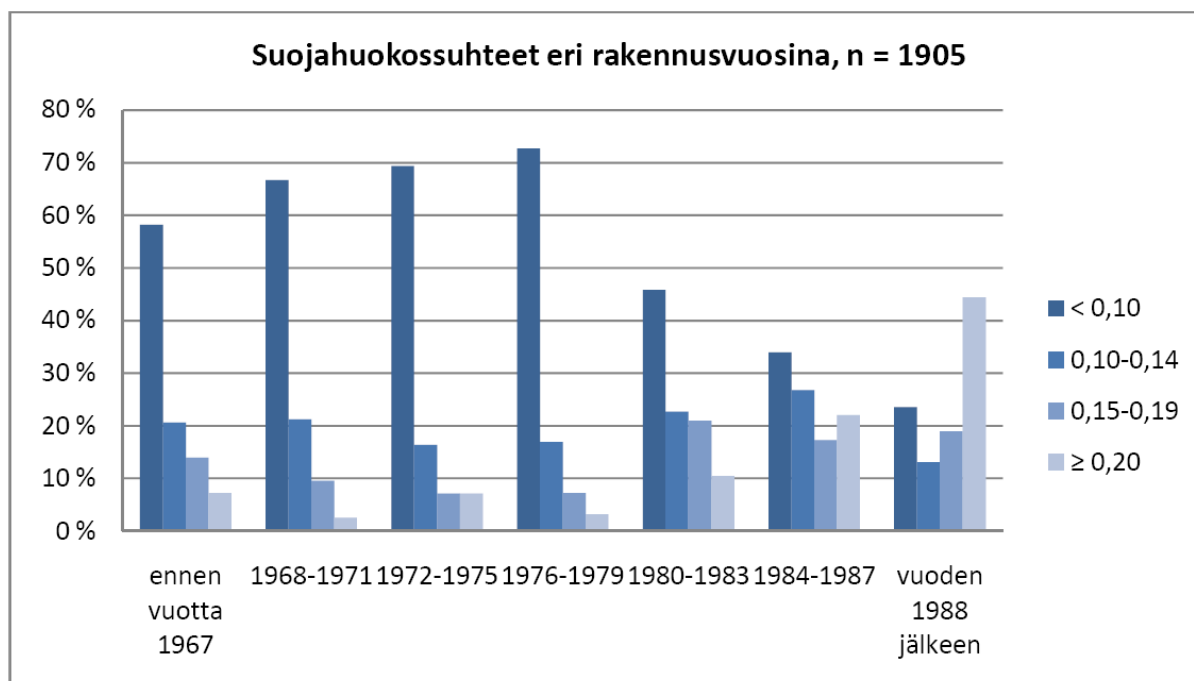
teilla on mahdollista saavuttaa huomattavasti lisää käyttöikää olemassa oleville betoniparvekkeille (Mattila & Pentti 2004).



Kuva 3.7 Näkyvien pakkasrapautumavaurioiden esiintyminen parvekerakenteissa tietokannan perusteella (Weijo 2008).

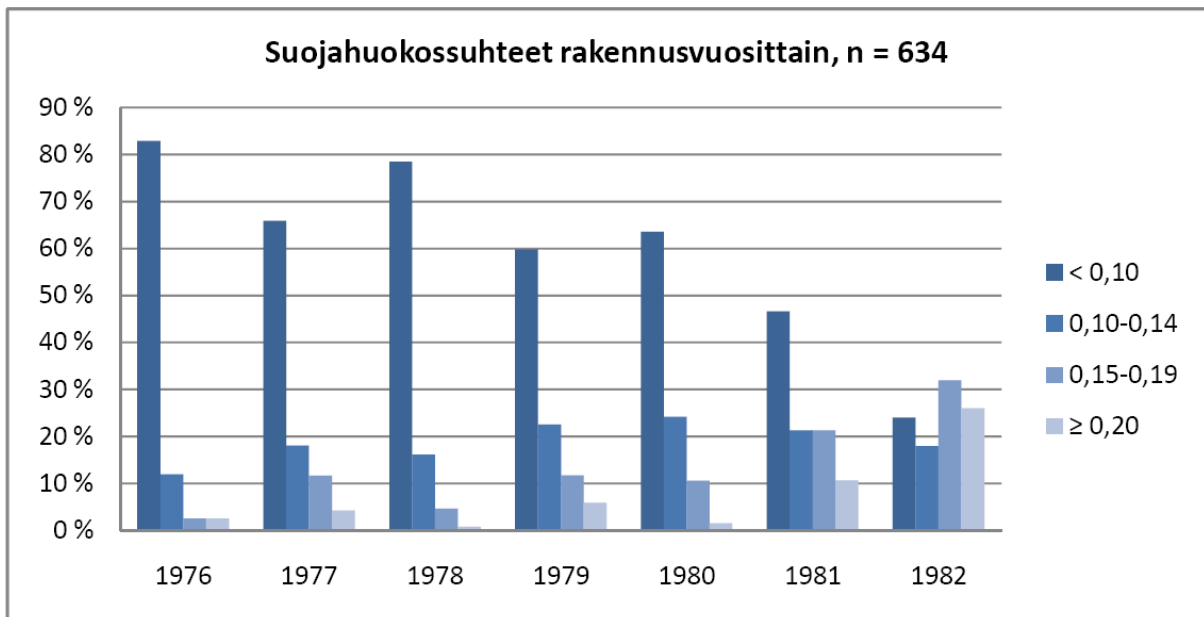
3.1.2 Suunnitteluohjeiden vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen

Betonin pakkasenkestävyysvaatimukset ovat muuttuneet 1960 -luvulta tähän päivään merkittävästi. Pakkaskestävyyden parantamisyhtymysten suhteen merkittäviä vuosia ovat olleet 1976, jolloin annettiin ohjeistus ulko-olosuhteille altistuvien betonirakenteiden lisähuokostamisesta sekä 1980, jolloin lisähuokostuksen testaus ohjeistettiin betonirakentamista ohjaaviin betoninormeihin.



Kuva 3.8 Parvekerakenteiden suojahuokossuhteet nelivuotiskausittain jaoteltuna BeKo-tietokannan perusteella (Weijo 2008).

Tietokannan perusteella lisähuokostuksen käyttöönotto ulko-olosuhteille altistuvissa betonirakenteissa voidaan havaita alkavan hitaasti vuodesta 1976 lähtien. Vasta vuoden 1981 jälkeen betonin lisähuokostus alkaa vakiintua elementtituotannossa.



Kuva 3.9 Parvekerakenteiden suojahuokossuhteiden parantuminen välillä 1976 - 1982 (Weijo 2008).

Betoniparvekkeiden pakkasenkestävyys alkaa parantua huomattavasti vuoden 1981 jälkeen valmistuneissa rakennuksissa. Syinä ovat betonin lisähuokostuksen käytön yleistymisen ja vakiintumisen sekä erityisesti suojahuokostuksen testausmenetelmien kehittyminen ja laaja käyttöönotto.

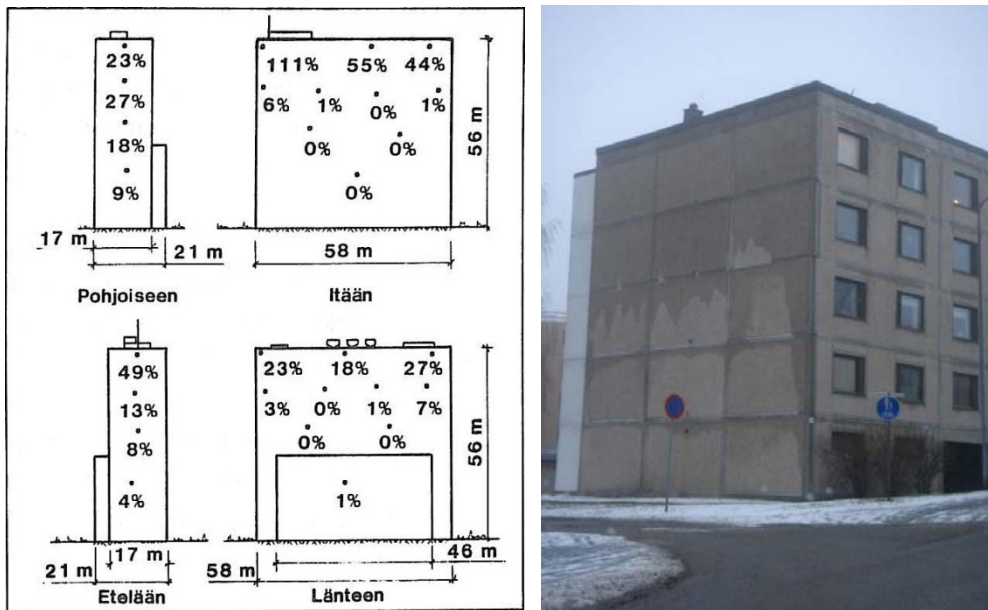
Tämä tarkastelu on esitetty betoniparvekkeiden ominaisuuksia tarkastelemalla, koska parvekerakenteet ovat pysyneet koko elementtirakentamisen ajan samanlaisina. Betonijulkisivuilla tilanne on aivan samansuuntainen kuin parvekkeilla, mutta tarkastelujaksot eivät ole yhtä yhtenäisiä johtuen julkisivutyypin muuttumisesta eri aikakausien kauneusihanteiden mukaan.

3.1.3 Raudoitteiden korrosio

Julkisivut

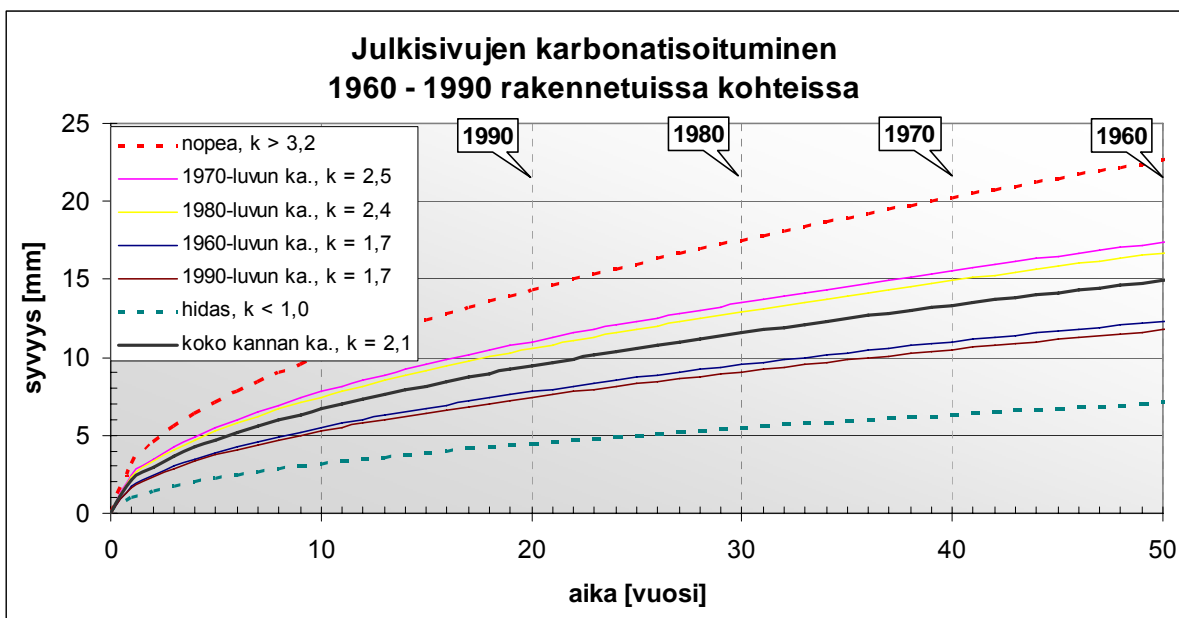
Silmämääräisesti havaittavia raudoitteiden korrosiovaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 59,2 %:ssa tutkituista julkisivuista. Pääosin korrosiovauriot ovat paikallisia, 53,5 %, laaja-alaista korrosiota esiintyy vain 5,7 %:ssa kohteista. 40,8 %:ssa tutkituista julkisivuista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia korrosiovaurioita.

Korrosiovauriot ovat aiheutuneet lähes yksinomaan betonin karbonatisoitumisen seurauksena, korroosion kannalta kriittinen määrä klorideja ylittyi vain neljässä kohteessa. Betonin karbonatisoitua korrosio alkaa ensin lähimpänä ulkopintaa olevissa raudoitteissa. Eniten julkisivut saavat kosteusrasitusta yläosiinsa, joten korroosionopeus on siellä suurinta.



Kuva 3.10 Vasemmalla ruotsalaisessa tutkimuksessa (Jerling & Schechinger 1983) mitattuja julkisivulle satavan viistosateen osuuksista. Oikealla avoimella paikalla oleva rakennuksen pääty sateen alkuhetkillä.

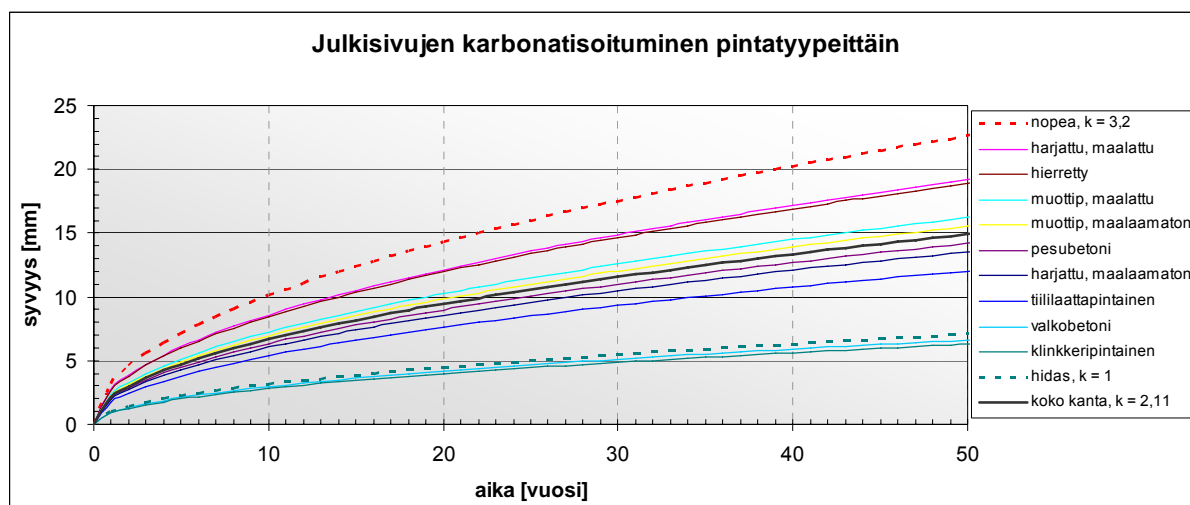
Betonin keskimääräinen karbonatisoitumisnopeus vaihtelee eri vuosikymmenten julkisivuja tarkasteltaessa. Karbonatisoitumisnopeus hidastuu 1970-luvun julkisivuista 1990-luvulle tultaessa. Tähän ovat syynä mm. tuoreen betonin alhaisempi vesisementtisuhte uudemmissa betonielementeissä sekä betonin lujuuden kasvu, joka on myös lisännyt sementin määrää betonissa. 1960-luvun julkisivujen karbonatisoitumisnopeus on samaa luokkaa kuin 1990-luvun betonijulkisivuissa. 1960-luvulla sementti oli huomattavasti karkeampaa ja sitä käytettiin enemmän, joten betoniin jäi hydratoitumatonta sementtiä, joka myöhemmässä vaiheessa hidastaa karbonatisoitumisen etenemistä.



Kuva 3.11 Betonin keskimääräinen karbonatisoituminen eri vuosikymmenillä BeKo-tietokannan mukaan.

Kuvan 3.11 kuvaajasta voidaan havaita, että 1970 rakennetun betonijulkisivun keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on tällä hetkellä 16 mm. Vastaavasti vuonna 1990 rakennetun betonijulkisivun keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on nyt noin 8 mm. Karbonatisoituminen on jo saavuttanut laajasti 1960- ja -70 -lukujen betonijulkisivujen raudoitteita.

Karbonatisoitumisnopeudella on huomattavan suurta vaihtelua julkisivun pintatyyppin mukaan, kuten kuvasta 3.12 voidaan havaita. Tämän lisäksi vaihtelu on suurta myös pintatyyppin sisällä.



Kuva 3.12 Betonin keskimääräinen karbonatisoituminen vaihtelee huomattavasti julkisivun pintatyyppin mukaan.

Raudoitteiden peitepaksuuksissa on suurta vaihtelua julkisivun pintatyyppin mukaan. Korjaustavan valinnan kannalta oleellista on pienten peitepaksuuksien osuus. Alle 10 mm:n peitepaksuuksia on tyypillisesti 5 – 10 % kaikista julkisivun raudoitteista.

Parvekkeet

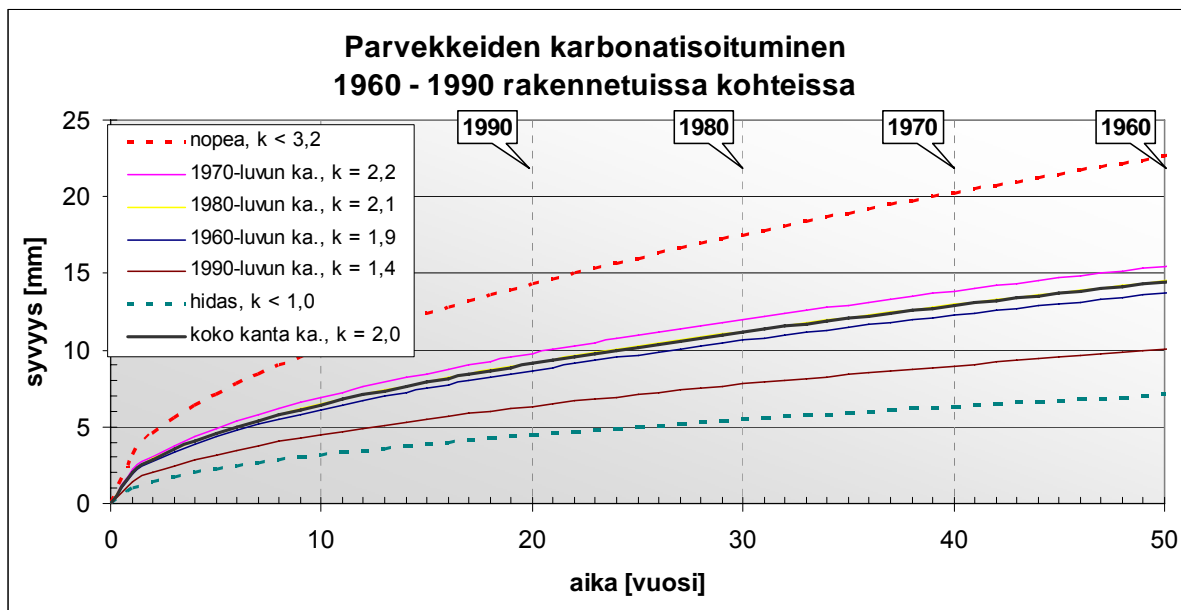
Silmämääräisesti havaittavia raudoitteiden korroosioaurioita on kuntotutkimushetkellä esiintynyt 66,2 %:ssa tutkituista parveke-elementeistä. Pääosin korroosioauriot ovat paikallisia, 50,8 %, kuvan 3.13 mukaista laaja-alaista korroosiota esiintyy kuitenkin 15,4 %:ssa kohteista. 33,8 %:ssa tutkituista parvekkeista ei esiinny silmämääräisesti havaittavia korroosioaurioita.



Kuva 3.13 Laaja-alaista karbonatisoitumisen aiheuttamaa raudoitteiden korroosiota kaideelementissä. Raudoitteiden peitepaksuudet ovat < 5 mm kyseisissä vauriokohdissa.

Parvekerakenteissa korroosioauriot ovat aiheutuneet lähes yksinomaan betonin karbonatisoitumisen seurauksena, korroosion kannalta kriittinen määrä klorideja ylittyi vain neljässä kohteessa. Betonin karbonatisoitumisen alkua ensi lähimpänä ulkopintaa olevissa raudoitteissa. Raudoitteiden korroosio on yleisintä pieliementtien pieliiteräksissä.

Parvekerakenteiden betonin keskimääräinen karbonatisoitumisnopeuden vaihtelu on pienempää kuin julkisivujen tapauksessa. Keskimääräinen karbonatisoitumisnopeus on 1980-luvun parvekkeissa vai hieman hitaampaa kuin 1960- ja -70-lukujen parvekkeissa. Parveke-laatoissa on käytetty korkeamman lujuusluokan betonia kuin esimerkiksi julkisivuissa elementtirakentamisen alusta lähtien. Tällä on haettu rakenteelle vesitiiviyyttä. Parvekkeiden betonipinnat ovat yleisesti maalipintaisia, joka ollessaan ehjä vastustaa tehokkaasti hiilidioksidin tunkeutumista betoniin ja siten hidastaa karbonatisoitumista.



Kuva 3.14 Parvekerakenteiden betonin keskimääräinen karbonatisoituminen eri vuosikymmenillä BeKo-tietokannan mukaan.

1990-luvun parvekkeiden karbonatisoitumisnopeus on selvästi pienempi kuin aikaisempien vuosikymmenten rakenteissa. Syynä tähän on betonin lujuusluokkatason yleinen nostaminen kaikissa elementtityypeissä, jolloin betonit ovat tiiviimpiä ja karbonatisoituvaa ainetta eli sementtiä on käytetty enemmän. Myös parvekkeiden maalipinnat ovat olleet yleisesti vielä ehjiä ja hyväkuntoisia kuntotutkimushetkellä.

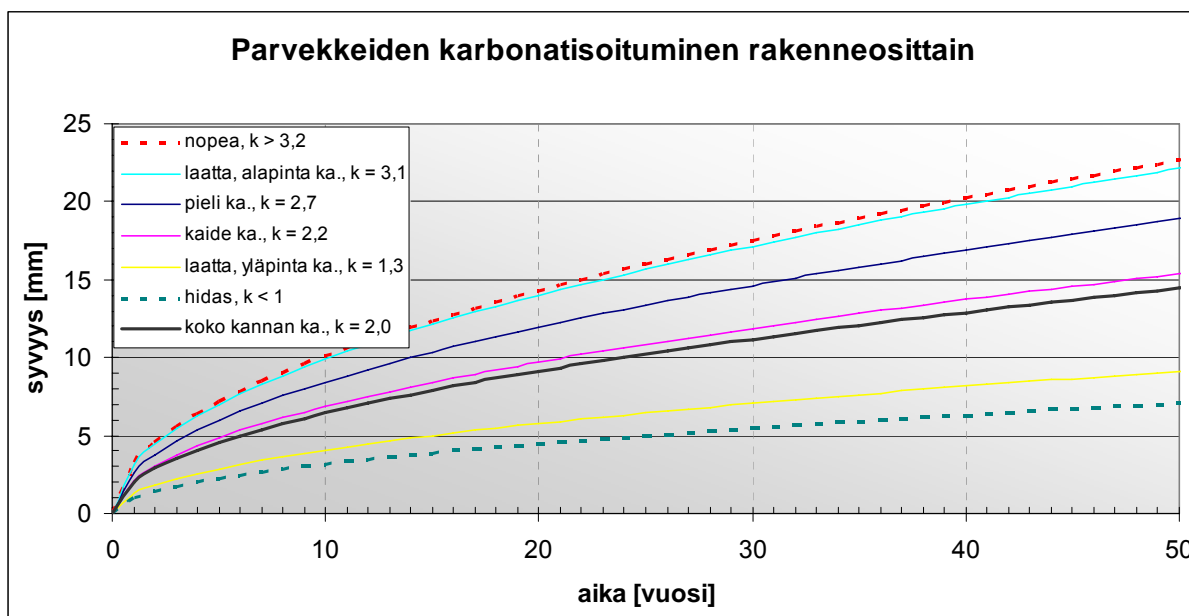
Keskimääräisellä karbonatisoitumisnopeudella on huomattavan suurta vaihtelua parvekelementtityypin mukaan, kuten kuvasta 3.15 voidaan havaita. Tämän lisäksi vaihtelu on suurta myös elementtityyppien sisällä.

Kuvan 3.15 kuvaajasta voidaan havaita, että betoni karbonatisoituu nopeimmin laatan alapinnasta. Karbonatisoituminen on saavuttanut laattojen alapintojen teräksiä laajalti koko BeKo-tietokannan parvekkeissa. Karbonatisoituminen on laattojen alapinnassa edennyt nopeasti, koska alapinnan maali on yleisesti hyvin huokoista ja läpäisevää eikä betonin huokosverkosto ole voinut täyttyä sadevedestä, jolla on karbonatisoitumista hidastava vaikutus. Betonilaatan alhaisesta kosteudesta johtuen raudoitteiden korroosio on ollut kuitenkin hidasta.

Laatan yläpinta on tyypillisesti maalattu tiiviillä maalilla, joten karbonatisoituminen yläpinnassa on ollut vastaavasti hidasta. Laatan yläpinnan maalikalvon ehjänä pysyminen on ensiarvoisen tärkeää laatan kosteuspitoisuuden pitämiseksi alhaisena. Parvekelaatan kosteuspitoisuus ja erityisesti vesivuodot laatan läpi vaikuttavat oleellisesti laatan alapinnan raudoitteiden

korroosionopeuteen. Tästä syystä parvekelaattojen yläpinta usein vedeneristetään parvekekorjausten yhteydessä.

Vuonna 1980 rakennetun betoniparvekkeen kaiteen ja piellelementin keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on tällä hetkellä noin 12 – 14 mm. Vastaavasti vuonna 1990 rakennetussa parvekkeessa keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys on nyt noin 9 - 12 mm. Karbonatisoituminen on saavuttanut jo laajasti 1960- ja -70 -lukujen pieli- ja kaide-elementtien raudotteita.



Kuva 3.15 Betonin keskimääräinen karbonatisoituminen vaihtelee huomattavasti parvekelementtityypin mukaan.

3.1.4 Rakenteiden kiinnitysvarmuus

Julkisivut

Kuntotutkimuksen eräs keskeisimmistä tutkittavista asioista liittyy rakenteiden turvallisuuteen ja kiinnitysvarmuuteen. Julkisivuelementtien kiinnitystapaa ja käytettyjä materiaaleja sekä kiinnikkeiden kuntoa on yleisesti selvitetty näyteporausten yhteydessä porareikien kautta.

BeKo-tietokannan mukaan sandwich-elementtien tyypillisin ulkokuoren kiinnitystapa on teräsansas, jonka diagonaalit ovat \varnothing 5 mm ruostumatonta terästä 1970 ja sitä uudemmissa rakennuksissa. Saman aikakauden kuorielementtien kiinnityksissä on käytetty yleisesti ruostumatonta teräsosia.

1960-luvun rakennuksissa on esiintynyt enemmän variaatioita ulkokuoren kiinnityksessä ja kiinnikkeet ovat usein olleet tavallista seostamatonta terästä, joiden korroosiosuojaus on tehty sementtiveljiin kastamalla, bitumoimalla tai ne ovat rakenteessa paljaaltaan. Nämä kiinnikkeet ovat olleet usein paksun ruosteen peitossa mutta teräksen halkaisija ei ole pienentynyt kuin enintään 1 mm.



Kuva 3.16 Klinkkerilaattapintaisen kuorielementin voimakas kaareutuminen on yleensä merkki estetystä betonin kutistumasta. Yleensä kiinnitysvarmuus on riittävä, mikäli kiinnikkeet ovat ruostumatonta terästä eikä betonissa esiinny pakkasrapautumaa. Pintatarvikkeellisissa julkisivuissa, kuten tässä kuvassa ilmenevä kutistumaeroista johtuva kaareutuminen on varsin yleistä.

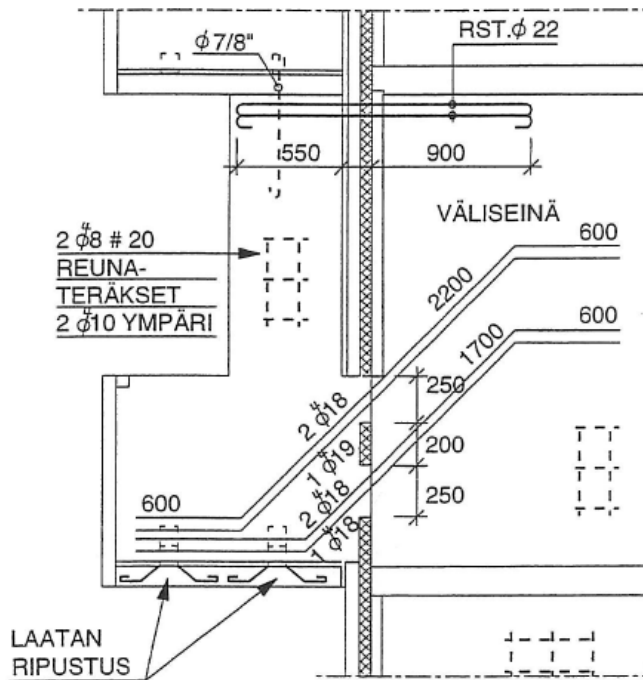
Julkisivun ulkokuorien kiinnitysvarmuus on yleisesti ollut hyvä, kiinnitysvarmuus on tietokannan mukaan ollut puutteellinen vain yksittäistapauksissa ja niissäkin lähinnä betonin pakkasrapautumisen vuoksi. Kuvan 3.16 mukainen kuorielementtien voimakas kaareutuminen ei siten ole välttämättä merkki laajasta ja pitkälle edenneestä pakkasrapautumisesta, varsinkaan klinkkeri- ja tiililaattapintaisissa rakennuksissa, joissa kaareutuminen aiheutuu tyypillisesti kutistumaeroista.

Parvekkeet

Yleisimmin elementtiparvekkeet on tuettu kantavien pieliseinien, pilarien tai ulkoseinän kantavan ulkokuoren välityksellä perustuksilleen. Näin muodostuva parveketorni voi olla rakennuksen rungosta ulkoneva tai sisäänvedetty.

Parveketornit on sidottu sivusuunnassa kaatumisen estämiseksi kerroksittain pieliseinistään poikittaisiin väliseiniin tai parvekelaatoista välipohjalaattoihin. Sidonta poikittaisiin väliseiniin on tehty hitsausliitoksien esimerkiksi lattateräsoisien (ruostumattomiakin lattateräksiä on käytetty) tai harjaterästankojen avulla. Seostamattomien kiinnikkeiden eristetilassa oleva osuus voi olla esimerkiksi betonoitu. Parvekelaatan ja välipohjan välinen sidonta on voitu tehdä ulkoseinän läpi menevillä latta- tai pyöröteräskiinnikkeillä (esimerkiksi ruostumaton teräs) tai parvekesaranoilla (ruostumaton tai kuumasinkitty teräs).

Omilta perustuksiltaan tuetuissa parvekkeissa ei ole esiintynyt rakenteiden kiinnitysvarmuuteen liittyviä puutteita kuin muutamissa yksittäistapauksissa. Näissä on ollut kyse betonin pitkälle edenneestä pakkasrapautumasta.



Kuva 3.17 Esimerkki parvekkeen ripustuksesta rakennuksen runkoon. Alin parveke kantaa myös yläpuolella olevilta parvekkeilta tulevat pystykuormat. Koko rakenteen kantavuuden kannalta pielen pakkasrapautuminen ja vetoterästen korroosio aiheuttavat suuren riskin.

Ulokeparvekkeiden, joita on BeKo-tietokannassa vain vähän, kohdalla kannatusrakenteiden vaurioituminen on ollut yleisempää. Tällöin on ollut useimmiten kyse suojaamattomien vetoterästen korroosiosta seinän eristehalkaisun kohdalla. Ratakiskoin tai muilla muototeräksillä kannatetuissa parvekkeissa teräsosissa on yleensä ollut riittävästi kapasiteettia myös pidemmälle edenneen ruostumisen varalle.

3.1.5 Muu vaurioituminen

Erilaiset saumaukset

Vanhat julkisivujen elastiset saumamassat saattavat sisältää lyijy- ja PCB-yhdisteitä. Näiden olemassaoloa kuten saumojen kuntoa ei ole kuntotutkimusraportteihin kirjattu systemaattisesti, joten niistä ei ole voitu tehdä laajempia tarkasteluja.

Parvekkeiden laastisaumoja rikkovat yleisesti kuvan 3.18 mukaisesti elementtien asennuksessa käytetyt vaneriset tai metalliset korkolaput. Myöskään näiden vaurioiden olemassaoloa ei ole systemaattisesti kirjattu kuntotutkimusraportteihin.



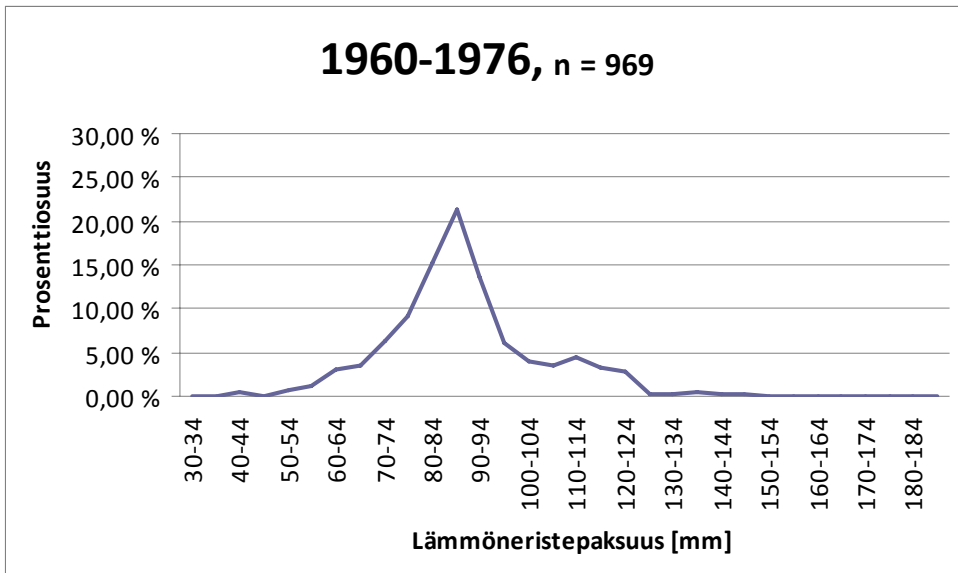
Kuva 3.18 Tyypillinen elementin asennuspalan aiheuttama vaurio parvekelaatan ja –pielen laastisaumassa.

Sekä laasti- että elastisten saumojen eheys ja korjaukset ovat tärkeitä rakenteiden kuivana pysymisen ja vaurioitumisnopeuden hidastamisessa. Parvekkeiden laastisaumojen pinnat tulee korjausten yhteydessä muuttaa ulkopinnoiltaan elastisiksi.

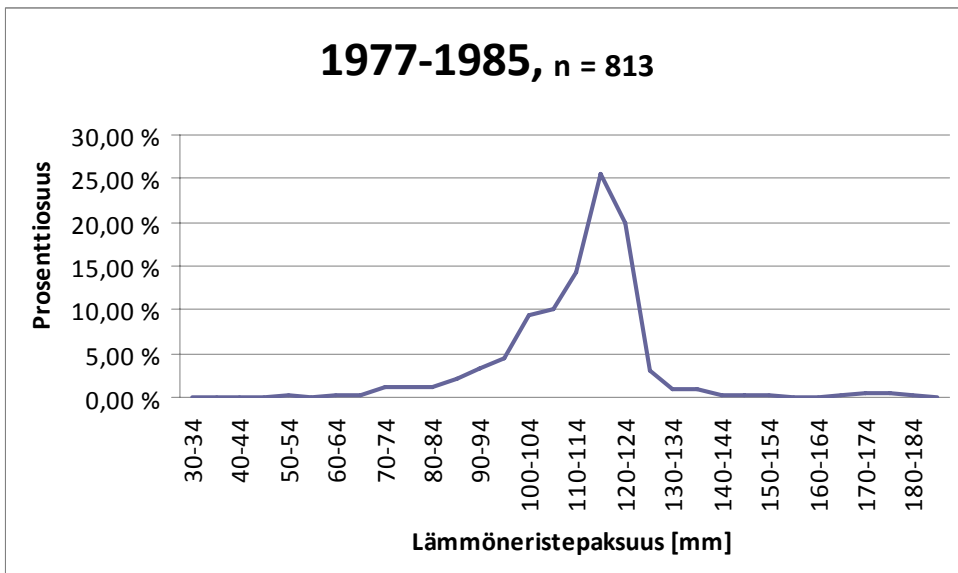
Lämmöneristeet

Lämmöneristeiden kuntoa ja tyyppiä tarkastellaan kuntotutkimusten yhteydessä silmämääräisesti porareii'istä. Lisäksi mitataan lämmöneristekerroksen paksuus. Yleisimmin julkisivuelementeissä on käytetty lämmöneristeenä mineraalivillaa, muut eristemateriaalit, kuten EPS- ja Toja-levyt ovat olleet yksittäistapauksia. Lämmöneristeet ovat olleet tutkimushetkellä yleisesti kuivia.

Lämmöneristeiden nimellispaksuus on valittu rakennuskohteisiin tyypillisesti kulloinkin voimassaolevat määräykset täyttäväksi. Eristepaksuuksissa esiintyy huomattavaa vaihtelua nimellispaksuuden molemmin puolin, kuten kuvista 3.19 ja 3.20 voidaan havaita.



Kuva 3.19 Mitattu lämmöneristeiden paksuusjakauma BeKo-tietokannan julkisivuelementeissä. Lämmöneristyksen määräysten mukainen suunnittelupaksuus on ollut 80 mm.



Kuva 3.20 Mitattu lämmöneristeiden paksuusjakauma BeKo-tietokannan julkisivuelementeissä. Lämmöneristyksen määräysten mukainen suunnittelupaksuus on ollut 120 mm.

3.2 Eri kuntotutkimusmenetelmien luotettavuus

Kuntotutkimuksessa vaurioiden olemassaoloa ja tilaa selvitetään erilaisilla kenttä- ja laboratoriotutkimusmenetelmillä. BeKo-tietokannan laajan otoksen perusteella tehtiin tarkasteluja eri menetelmien soveltuvuudesta yleensä sekä epätarkemmilla menetelmillä saatavan tiedon luotettavuudesta ja edustavuudesta tarkempiin kuntotutkimusmenetelmiin verrattuna.

Pääasiassa tarkastelun kohteena olivat betonin pakkasrapautumisen tutkimusmenetelmät, sillä raudotteiden tutkimiseen käytettävät menetelmät ovat yksiselitteisempiä.

3.2.1 Silmämääräinen tarkastelu

Silmämääräisellä tarkastelulla voidaan havaita pitkälle edennyt ja jo silmin havaittavia vaurioita aiheuttaneiden vaurioiden olemassaolo ja laajuus nopeasti ja tarkasti. Sen sijaan alka-

vaa raudotteiden korroosiota tai betonin pakkasrapautumaa ei ole mahdollista rakenteiden silmämääräisellä tarkastelulla selvittää.



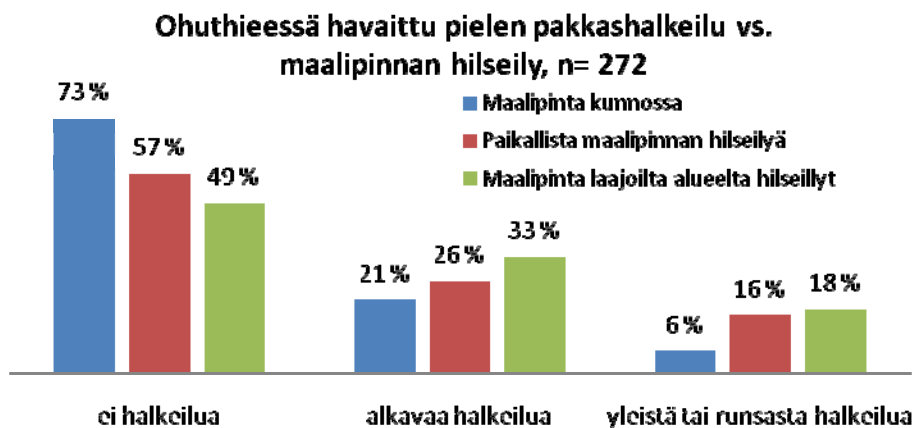
Kuva 3.21 Paikallisia raudotteiden korroosioaurioita betonijulkisivussa ja parvekekaiteessa. Korroosiotuotteiden suurempi tilavuus on aiheuttanut betoniin sen vetolujuutta suuremman sisäisen jännityksen, jolloin ohut betonipeite on rikkoutunut.

Rakenteiden silmämääräinen tarkastelun yhteydessä betonijulkisivuja myös vasaroidaan raskaalla puuvartisella vasaralla, jolloin on mahdollista tehdä havaintoja myös pitkälle edenneestä mutta ei vielä näkyvästä pakkasvaurioitumisesta.



Kuva 3.22 Pitkälle edennyttä ja laaja-alaista betonin pakkasrapautumaa parvekkeen pilarissa sekä pesubetonijulkisivussa.

Maalipintaisten parvekerakenteiden sekä julkisivujen maalipinnan kunto toimii indikaattorina myös betonin pakkasrasituksen suhteen. Ehjä maalipinta suojaa alla olevaa betonirakennetta melko hyvin kastumiselta silloin, kun kohteessa on käytetty tiiviitä maalikerroksia. Tyypillisesti betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa 1970- ja -80-luvuilla käytetyt maalit ovat olleet hyvin tiiviitä. Kuvassa 3.23 on verrattu tutkimuskohteessa silmämääräisesti tehtyjä havaintoja maalipinnan hilseilystä ohuthieanalyysituloksiin betonin pakkasrapautuman suhteen. Kuvasta voidaan havaita, että kun maalipinta on ollut ehjä, rapautumaa on huomattavasti vähemmän kuin hilseilleen maalipinnan tapauksessa.



Kuva 3.23 Maalipinnan hilseilyn ja ohuthietutkimuksessa havaitun betonin pakkasrapautumisen riippuvuus.

Betonirakenteen maalipinnan hilseilystä voidaan tehdä päätelmä, että betonirakenne altistuu suuremmalle kosteusrasitukselle kuin maalipinnan suojaamana ja vauriomekanismit voivat siten edetä nopeammin. Vaakapintojen, eli lähinnä parvekelaattojen maalipinnan hilseily mahdollistaa huomattavien vesimäärien imeytymisen betonin huokosverkostoon. Parvekelaattojen alapinnan maalin hilseily on yleensä merkki suurista vesivuodoista rakenteen läpi. Näissä kohdin betonin pakkasrapautuminen ja raudotteiden korroosio etenevät yleensä huomattavasti nopeammin kuin muissa rakenteissa.



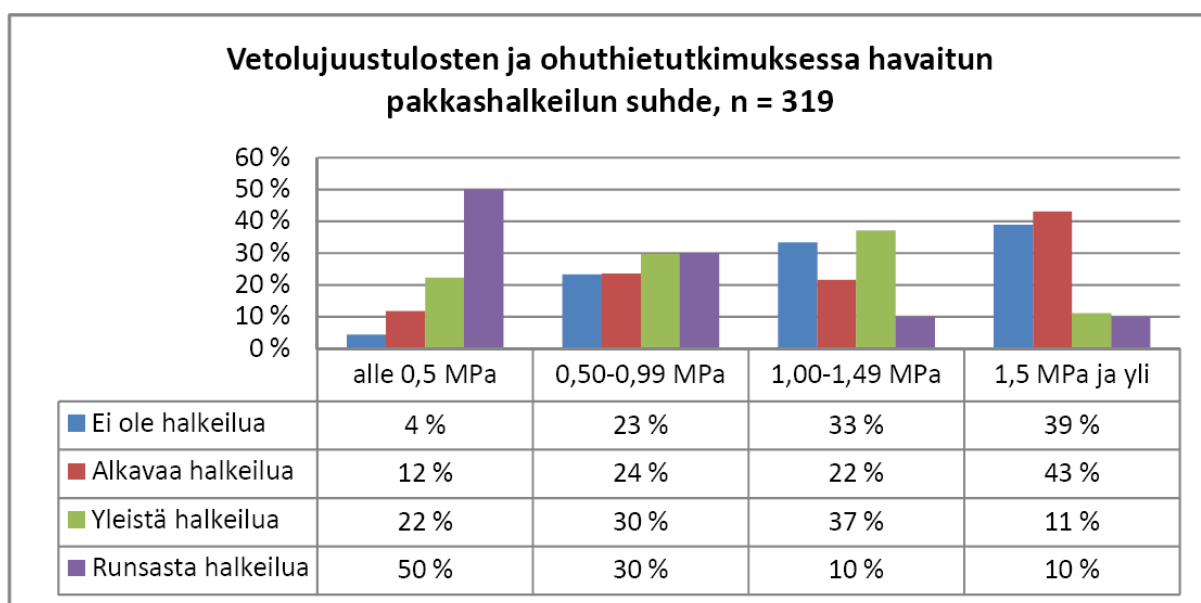
Kuva 3.24 Parvekelaattojen alapinnan maalin hilseily on yleensä merkki kosteuden kulkeutumisesta rakenteen läpi tai rakenteessa. Vauriomekanismien esiintyminen on näillä kohdin todennäköisempää ja vaurionopeus suurempaa kuin muissa rakenteissa.

Maalipinnan hilseilystä ei kuitenkaan ole mahdollista tehdä suoraan päätelmiä betonin pakkasrapautumisen olemassaolosta tai sen asteesta. Se on enemmänkin ohjeistuksena kuntotutkijalle asiaan tarkemmasta paneutumistarpeesta.

3.2.2 Betonin vetolujuuskokeet

Betonin vetolujuuskoetta on käytetty Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 -ohjeen mukaisesti betonissa mahdollisesti olevan pakkasrapautumisen olemassaolon tutkimusmenetelmänä. Ohjeen mukaisesti rapautumattoman betonin vetolujuuden raja-arvona pidetään 1,5 MPa ja vastaavasti pitkälle rapautuneen betonin raja-arvona < 0,5 MPa. Väliin jäävällä vetolujuusarvojen alueella rapautuman olemassaoloa tulee tarkastella tarkemmin myös muilla tutkimusmenetelmillä, kuten ohuthietutkimuksella, sillä alkavaa rapautumaa on vetolujuuskokeella vaikea todentaa. Lisäksi betonissa käytetyn runkoaineen raekoko suhteessa näytteen halkaisijaan ja kiviaineksen muoto vaikuttavat vetolujuustuloksiin. Betonin, jonka runkoaineena on käytetty pyöreää luonnonsoraa ja suurehkoa raekokoa, vetolujuustulos jää luonnollisesti alemmaksi kuin murskattua kiviainesta sisältävän betonin.

Betonin vetolujuustulosten ja ohuthietutkimuksissa havaitun pakkashalkeilun suhdetta on esitetty kuvassa 3.25. Huonojen vetolujuustulosten osuus kasvaa ohuthieessä havaitun betonin pakkashalkeilun mukaan.



Kuva 3.25 Betonin vetolujuuskokeiden ja ohuthietutkimuksissa havaitun pakkashalkeilun suhde.

Betonin vetolujuuskoe on varsin hyvä tutkimusmenetelmä, kun rapautumaa ei ole vielä esiintynyt tai pakkasrapautuma on jo pitkälle edennyt. Tähän väliin jäävien tulosten tulkinnessa tarvitaan enemmän rinnakkaisia tutkimusmenetelmiä, kuten ohuthietutkimuksia.

3.2.3 Betonin suoja huokossuhde

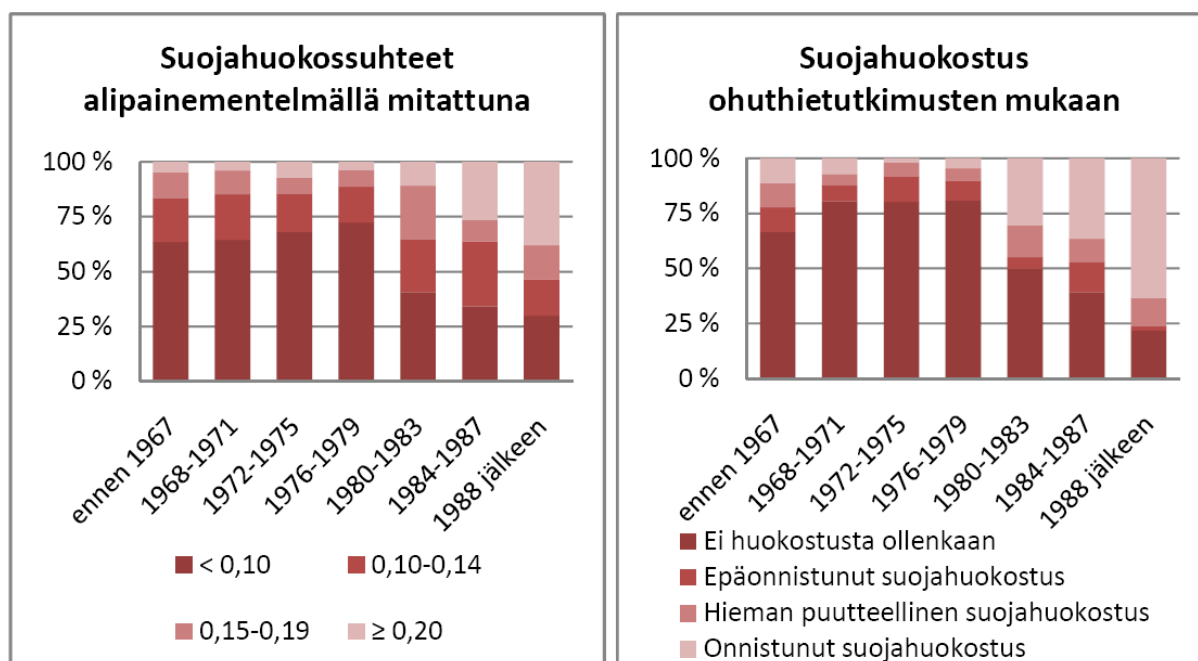
Betonin suoja huokossuhteen määrittämisellä selvitetään kosteusrasituksessa kapillaarisesti täyttymättömien ilmahuokosten määrän osuus betonin kokonaishuokoisuudesta. Veden jäähtymisen aiheuttama hydraulinen paine betonin huokosverkostoon pääsee purkautumaan näihin suoja huokosiin. Kun suoja huokosia on riittävästi ja tarpeeksi lähekkäin toisiaan betonin pakkasrapautumista ei tapahdu.

Suoja huokoskokeen hyvä ominaisuus on sen edullisuuden lisäksi soveltuminen suurille näyttemäärille. Suoja huokoskokeen edustavuutta on usein kritisoitu epätarkkana onnistuneen suoja huokostuksen testaustapana.

Kuvassa 3.26 on tarkasteltu betonin suoja huokostuksen onnistumista suoja huokoskokeen perusteella ja ohuthietutkimuksen mukaan. Tietokannan parvekerakenteiden suoja huokos-

suhteet on jaoteltu neljän vuoden periodeihin suojahuokossuhteen raja-arvovaatimusten voimaantulovuosien (1976 ja 1980) mukaan.

Pylväsdiagrammeista voidaan havaita, että tutkimusmenetelmästä riippumatta suojahuokossuhteen olemassaolosta ja onnistumisesta tulee rakennusvuosittain jaoteltuna hyvin samansuuntaiset tulokset. Rakenteen korjaustavan valinnan kannalta suojahuokossuhde soveltuu riittävän hyvin betonin pakkasenkestävyyden arviointiin. Suojahuokossuhde siis paljastaa selvästi puutteellisen suojahuokostuksen, mutta hyvä arvo ei välttämättä ole taee onnistuneesta huokosjasta, sillä suojahuokossuhteen määrittämisellä saadaan selville suojahuokosten kokonaistilavuus mutta ei niiden välistä etäisyyttä eikä mahdollisesti alkanutta pakkasrautumaa.



Kuva 3.26 BeKo-tietokannan parvekerakenteiden betonin suojahuokossuhdejakaumat alipainementelmällä mitattuna ja ohuthietutkimuksen mukaan.

Betonin pakkasrautumatilanteen arvioimiseen tarvitaan muita rinnakkaisia tutkimusmenetelmiä, kuten betonin vetolujuuskokeita sekä ohuthieanalyysijä. Suojahuokoskoe on kuitenkin erinomainen testausmenetelmä mm. valittaessa näytteitä ohuthieanalyysiin. Kuten tietokannan tuloksista voidaan havaita, pakkasrautumaa esiintyy todennäköisimmin huonon suojahuokossuhteen betoneissa.

3.2.4 Yhteenveto kuntotutkimusmenetelmien luotettavuudesta

Betonijulkisivun kuntotutkimuksessa ei useinkaan mitata vaurioitumista tai vaurioitumisnopeutta suoraan vaan tehdään erilaisia vaurioitumiseen viittaavaa havainnointia sekä mittauksia. Esimerkiksi betonin pakkasenkestävyyttä selvitetään ohuthietutkimuksen ja suojahuokoskokeen avulla kun suora tutkimusmenetelmä on jäädytyskoe. Samoin mitataan betonin karbonatisoitumisvyyttä sekä terästen peitepaksuusjakaumaa eikä suoraan terästen korroosionopeutta.

Suurimmalta osin edellä mainitut suorat vaurioitumista ja vaurionopeutta kuvaavat menetelmät ovat osaltaan epäluotettavia tai mahdottomia toteuttaa kenttäolosuhteissa eivätkä aina kuvaa vaurioitumisen tutkimushetken tilannetta.

BeKo-tietokannan perusteella erilaiset betonin pakkasenkestävyyttä ja pakkasrautumaa sekä raudotteiden korroosiota kuvaavat tutkimusmenetelmät antavat hyvin samansuuntaisia

tuloksia riittävällä tarkkuudella rakenteen korjaustarpeen määrittämistä silmällä pitäen. Näiden eri menetelmien yhteiskäyttö Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 -ohjeen mukaisesti on siis hyvin perusteltua ja kokoneiden kuntotutkijoiden saamat tulokset ovat luotettavia.

3.3 Kuntotutkimusten riittävyys – vertailu BeKo-tietokantaan

BeKo-tietokannan perusteella voidaan arvioida kunkin kuntotutkimuksen laajuutta. Kuntotutkimuksen riittävyyden tarkastelu vaatii kuitenkin laajempaa tarkastelua kuin mitä tietokannan avulla on mahdollista tehdä. Kuntotutkimuksen riittävyys riippuu huomattavasti tutkittavan rakenteen kunnosta ja tutkimukselle asetetuista tavoitteista. Usein pitkälle vaurioitunutta rakennetta ei tarvitse tutkia tarkasti, sillä jo silmämääräisen arvion perusteella voidaan määrittää kohteelle perusteellinen korjaustapa. Mikäli kohteessa ei ole näkyviä vaurioita, on rakenteet tutkittava tarkemmin korjaustarpeiden määrittämiseksi. Kuntotutkimuksen riittävyyteen vaikuttaa siis moni asia, joita ei pysty luokittelemaan määrällisesti.

BeKo-tietokannan perusteella voidaan kuntotutkimusten laajuutta arvioida karkeasti tutkimuksissa otettujen betonilieriönäytemäärien avulla. BeKo-tietokannassa olevien kuntotutkimusten näytemääristä voidaan tehdä jakaumia, joista saadaan selville keskimääräiset näytemäärät tehdyissä kuntotutkimuksissa. Näytemääriä voidaan verrata myös rakenteissa näkyviin vaurioihin ja suositeltuihin korjaustapoihin. Tätä vertailua on esitetty seuraavassa.

3.3.1 Kuntotutkimusten laajuuden arviointi näytemäärien mukaan

Kuntotutkimusten otanta Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 (By 42) mukaan

Julkisivut koostuvat usein erilaisista elementtityypeistä, jonka lisäksi eri elementtien pintamateriaalit saattavat vaihdella jopa elementtiokohtaisesti. Erilaiset materiaalit, valmistus- ja työtavat sekä rakenteiden ominaisuudet aiheuttavat turmeltumis- ja vaurioitumisilmiöiden etenevän vaihtelua, eikä yhdestä elementtityypistä otetuista näytteistä saatuja tuloksia voida yleistää koskemaan koko julkisivurakenteen elementtejä. By 42 mukaan näytteenotto ja tutkimukset on kuntotutkimuksessa suoritettava siten, että tulosten analysointi pystytään tekemään rakenne- ja elementtityyppikohtaisesti. Parvekerakenteista on näytteenotto ja muut tutkimukset kohdistettava erikseen pieli-, laatta- ja kaide-elementteihin. Ulkoseinäelementeistä on tutkittava erikseen esim. pitkien sivujen ruutuelementit, päätyjen umpielementit ja lisäksi vielä erikseen nauha- ja kuorielementit. Mikäli erilaisia pintatyyppisiä on useita, on elementtejä jaoteltava tätäkin tarkemmin (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Kuntotutkimukset tehdään otantatutkimuksena, jolloin tutkimuksella saatuihin tietoihin sisältyy aina jonkin verran epävarmuutta. Mitä suurempaa otantaa käytetään, sitä luotettavampia tuloksia saadaan. Vastaavasti myös kustannukset kasvavat otoskoon suuretessa. Käytettävän otoskoon määrällinen suuruus riippuu siitä, mikä on kyseisen suureen ja sen tarkkuuden merkitys johtopäätöksiä tehtäessä. Kuntotutkimus on onnistunut ja luotettava silloin, kun sen johtopäätökset, varsinkin arvioitu korjaustarve ja ehdotettu korjaustapa, ovat vaurioitilanteeseen nähden oikeita ja taloudellisia. Korjaustarvetta koskevia päätelmiä tehtäessä eivät kaikki kerätyt tiedot ole yhtä tärkeitä, vaan päätös voi pohjautua esimerkiksi vain yhtä vauriotapaa koskeviin tietoihin. Siksi yleisiä tarkkuustavoitteita tai näytemäärävaatimuksia ei voi antaa. Tästä huolimatta By 42:ssa on kuitenkin annettu joitakin suuntaa-antavia näytemääriä (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Pakkasrapautumisen tutkiminen

Pitkälle rapautunut betoni on tarkempien menetelmien lisäksi havainnoitavissa vasaraimalla, jolloin pienin kustannuksin voidaan rakenteita tutkia laajalti. Mikäli rapautumista havaitaan vasaraimalla tai jopa silmämääräisesti, ei tarkempia tutkimuksia rapautumisen olemassaolosta yleensä tarvita. Kun rakenteessa ei ole näkyviä merkkejä rapautumisesta, pakkasen-

kestävyyden ja alkavan rapautumisen toteaminen todetaan ohuthietutkimuksilla. *Näytteitä on otettava vähintään 3 kaikista eri rakenneryhmistä, joissa betonin laatu voi olla erilainen* (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Korroosion tutkiminen

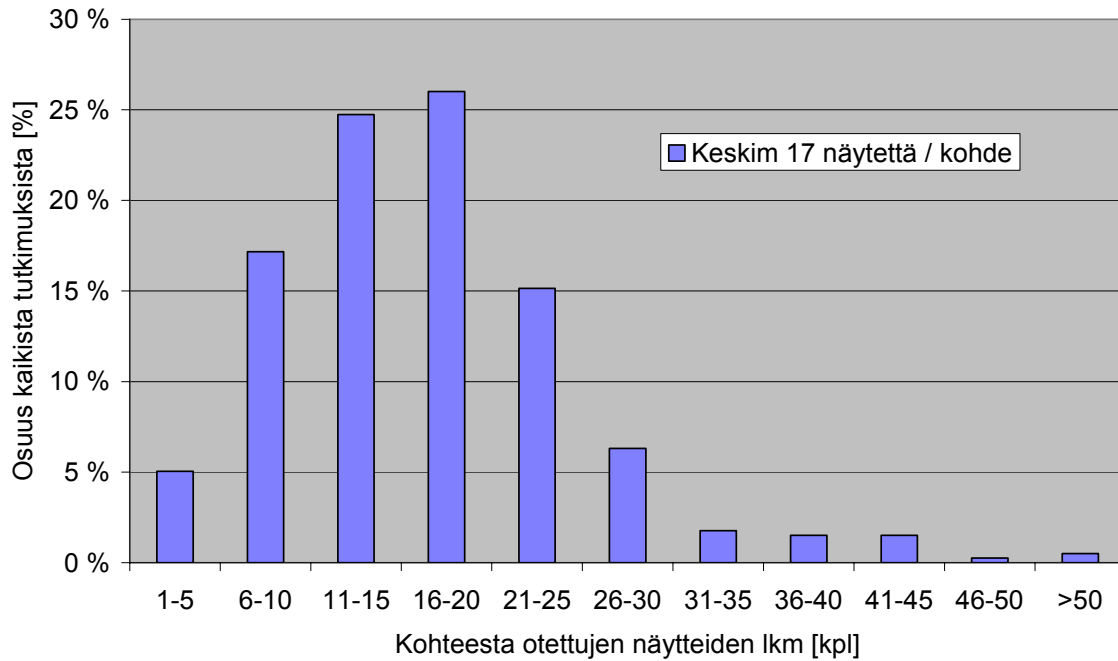
Korroosion osalta voidaan johtopäätökset korjaustarpeesta tehdä mahdollisesti ilman tarkempia tutkimuksia, mikäli näkyviä korroosiovaurioita on runsaasti. Tavallisesti raudoitteiden korroosiotila kuitenkin tutkitaan selvittämällä kuinka suuri osuus raudoitteista sijaitsee karbonatsoituneessa betonissa. Tämä arvioidaan mittaamalla edustavat otokset betonirakenteen pintojen karbonatsoitumissyvyyksistä ja raudoitteiden peitepaksuusjakaumista, ja laskemalla korroosion laajuus saatujen jakaumien avulla. Karbonatsoitumis- ja peitepaksuusotoksista lasketun raudoitteiden korroosion laajuusarvion tarkkuuteen vaikuttavat merkittävimmin otosten koko ja edustavuus, tutkittavan kohteen (rakennekokonaisuuden) korroosion laajuus ja kohteen koko. *By 42 mukaan vähimmäisnäytemääränä karbonatsoitumissyvyyden mittausta varten voidaan pitää 6 rinnakkaista mittausta kutakin tutkittavaa rakenne- ja pintatyyppiä kohti* (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002). Tällä näytemäärällä on varsin todennäköistä, että raudoitteiden todellinen korroosiomäärä poikkeaa arvioidusta varsin merkittävästi. Suositeltavaa onkin ottaa useampia betoninäytteitä karbonatsoitumissyvyyden luotettavuuden lisäämiseksi varsinkin, jos tutkittava rakennetyyppi muodostaa merkittävän osan tutkittavasta kohteesta (esim. julkisivuelementit) ja karbonatsoitumissyvyyksien hajonta on suuri. Rakennusosissa, joita on lukumääräisesti vähemmän tai joissa on vain vähän teräksiä, riittää pienempikin näytemäärä.

Betonin karbonatsoitumissyvyyssotoksen kasvattaminen parantaa tulosten tarkkuutta selkeästi ja säännönmukaisella tavalla. Karbonatsoitumissyvyyssotosten kasvattaminen on selvästi hyödyllistä likimain otoskokoön 14 - 20 kpl asti, ja sen jälkeen tarkkuus ei parane lisättyä näyteyksikköä kohti enää tehokkaasti. Myös raudoitteiden peitepaksuusotoksen kasvattaminen parantaa tarkkuutta. Peitepaksuusotoksilla vastaavaa käännekohtaa on vaikeampi nähdä, mutta tutkimuskohteen koosta riippuen noin 20 – 40 elementin neljänneksen otoskoon yläpuolella ei enää näyttäisi saatavan tehokasta parannusta tarkkuuteen. Suurissa kohteissa, joissa ryhmässä on samaa elementtityyppiä luokkaa yli 100 kpl, tarvitaan suurempia otoksia (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002).

Kuntotutkimusten otanta BeKo-tietokannan mukaan

BeKo-tietokannan mukaan asuinkerrostalojen julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimuksissa otetaan keskimäärin 17 betonilieriönäytettä (keskihajonta 8,6). Kuvassa 3.27 on esitetty näytemäärien jakauma tietokannan sisältämissä kuntotutkimuksissa. Kuvaajan sisältämät kuntotutkimukset (396 kpl) ovat julkisivujen ja/tai parvekkeiden kuntotutkimuksia ja ne saattavat sisältää useiden rakennusten tutkimuksia.

Kohdekohtainen jakauma ei anna vertailukelpoista kuvaa kuntotutkimusten laajuudesta, sillä kuntotutkimuksissa on tutkittu usein useampia rakennuksia samanaikaisesti, joten yksi kohde saattaa sisältää useita rakennuksia.

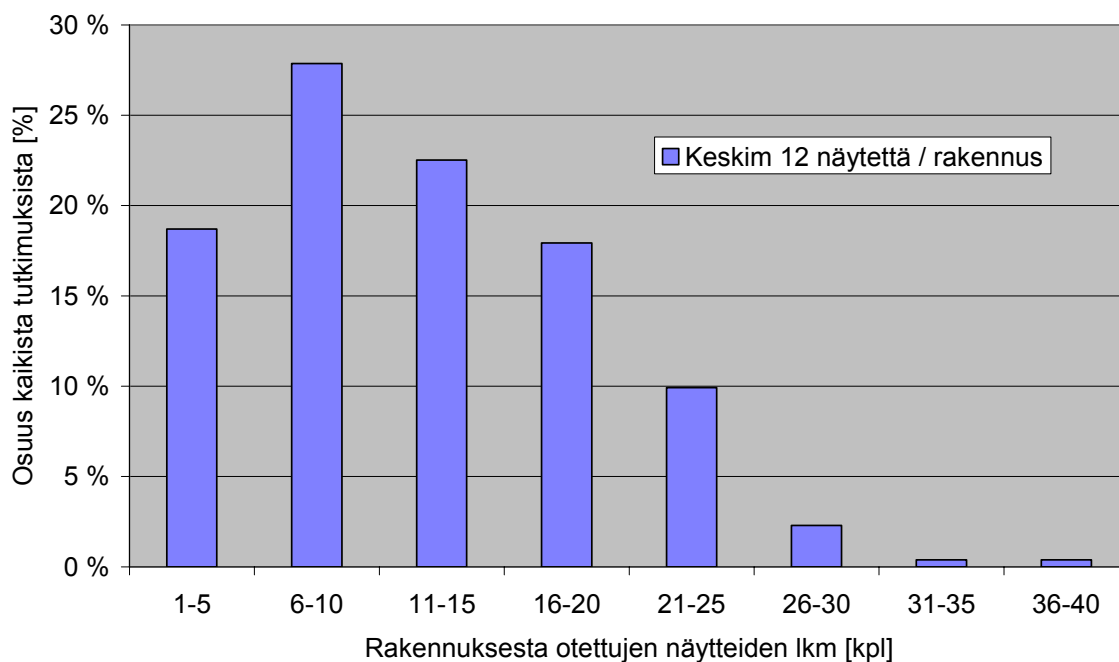


Kuva 3.27 Kuntotutkimuskohteista otettujen betonilieriönäytteiden lukumäärä julkisivujen ja/tai parvekkeiden kuntotutkimuksessa BeKo-tietokannan mukaan (n=396).

Kuvassa 3.28 on esitetty BeKo-tietokannan kuntotutkimuksissa otetut rakennuskohtaiset näytemäärät. Kaaviossa on mukana 262 kohdetta, jotka on rakennettu 1948 - 1993. Kuntotutkimukset näihin kohteisiin on tehty 1992 - 2006. Kuntotutkimukset ovat sisältäneet julkisivujen ja parvekkeiden kunnon tutkimisen. Kuvaajassa on mukana myös kuntotutkimuksia, joissa on tutkittu pelkästään joko julkisivut tai parvekkeet. Osa tietokannan kohteista on isoja vuokrataloyhtiöitä, joissa yksi kohde voi koostua useasta erillisestä rakennuksesta. Näiden kohteiden osalta on kuvan 3.28 sisältämät näytemäärät saatu jakamalla kokonaisnäytemäärä tutkittavien rakennusten lukumäärällä. Tästä aiheutuu jakaumaan jonkinasteista vääristymää, sillä usean rakennuksen tutkimuksissa saatetaan näytteenotto kohdistaa vain yhteen rakennukseen ja tuloksia soveltaa muihin kohteen rakennuksiin.

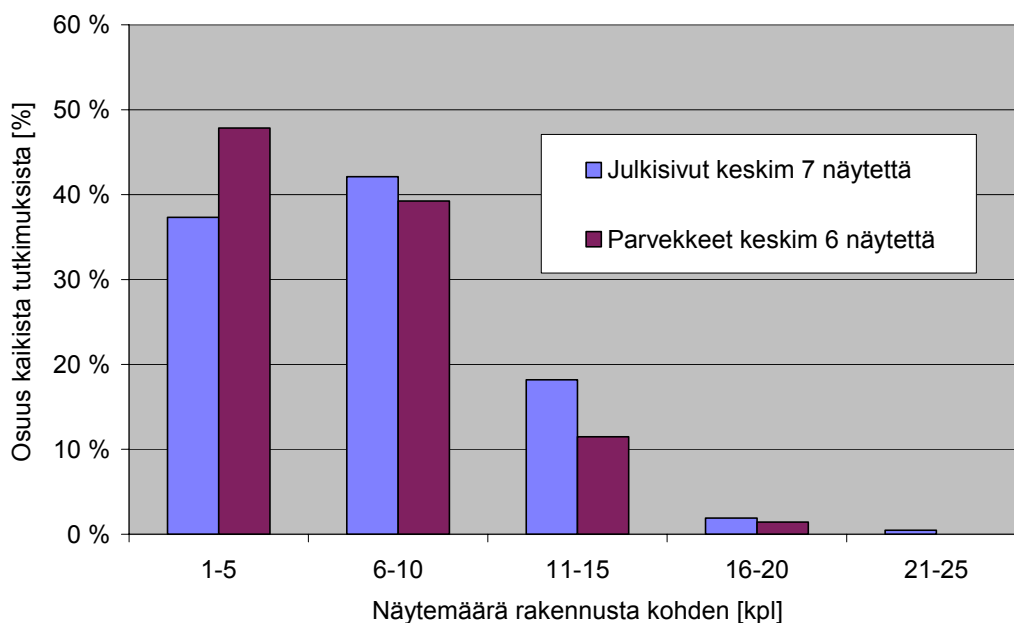
Tietokannan mukaan julkisivujen ja/tai parvekkeiden kuntotutkimuksissa otetaan keskimäärin 12,1 näytettä jokaisesta rakennuksesta (kuva 3.28). Tämä luku sisältää näytteet julkisivuelementeistä (umpi- ja ruutuelementit), sokkelielementeistä, ullakon kuorielementeistä ja parvekerakenteista (pieli-, laatta ja kaide-elementti).

Kuvan mukaan suurin osa kuntotutkimuksista on suoritettu 6-10 näytteellä (28 % kaikista tutkimuksista) tai 11-15 näytteellä (23 %), mutta myös 1-5 näytteen osuus on melko suuri (19 %).



Kuva 3.28 Rakennuskohtainen näytemäärä julkisivujen ja/tai parvekkeiden kuntotutkimuksessa BeKo-tietokannan mukaan (n=262).

Julkisivuista otetaan keskimäärin hieman enemmän näytteitä kuin parvekkeista. Kuvassa 3.29 on 209 sellaisen BeKo-tietokannassa olevan asuinkerrostalon kuntotutkimuksen näytemäärät, joissa on tutkittu sekä parvekkeet että julkisivut. Julkisivuista on otettu keskimäärin 7,2 betonilieriönäytettä ja parvekkeista on näytteitä otettu keskimäärin 6,1. Näistä yhteenlaskettu arvo eroaa hieman kuvan 3.28 keskiarvosta, koska kuvan 3.28 arvossa on mukana enemmän kuntotutkimuksia kuin kuvan 3.29 tiedoissa.



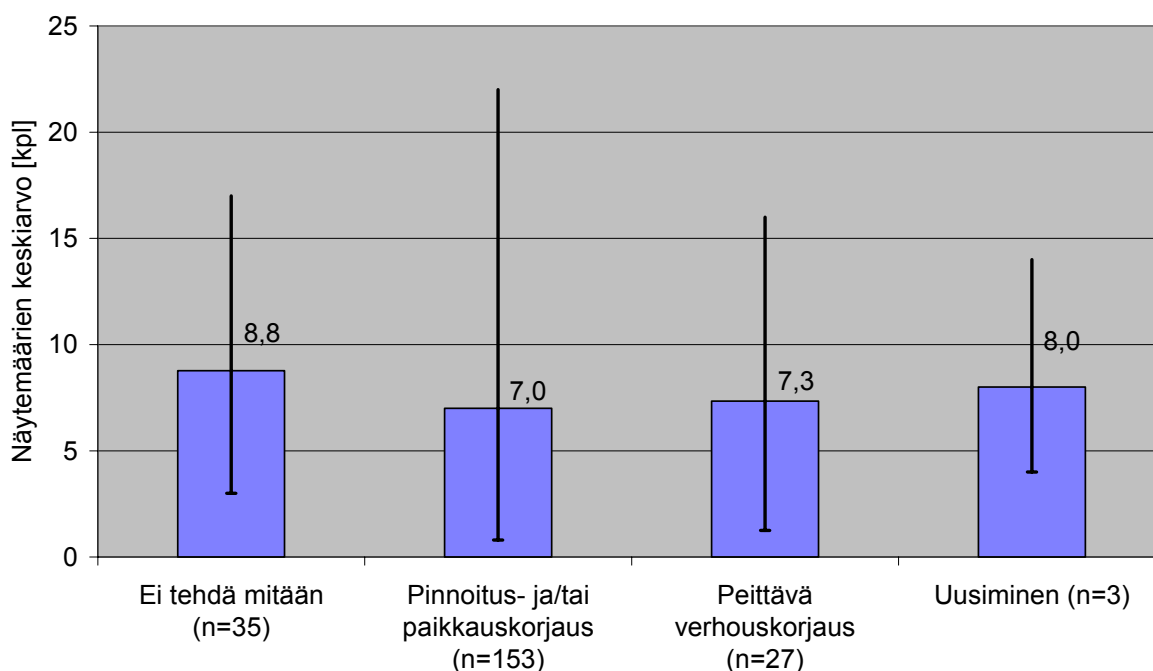
Kuva 3.29 Julkisivuista ja parvekkeista otettu näytemäärä julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimuksissa BeKo-tietokannan mukaan.

Tietokannan mukainen keskimääräinen kohde on 1978 rakennettu 5-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa on 2 porrashuonetta ja 28 parvekettä. Kuntotutkimus kohteeseen on tehty vuonna 2002.

3.3.2 Kuntotutkimusten otanta vs. kuntotutkimuksessa suositeltu korjaustapa

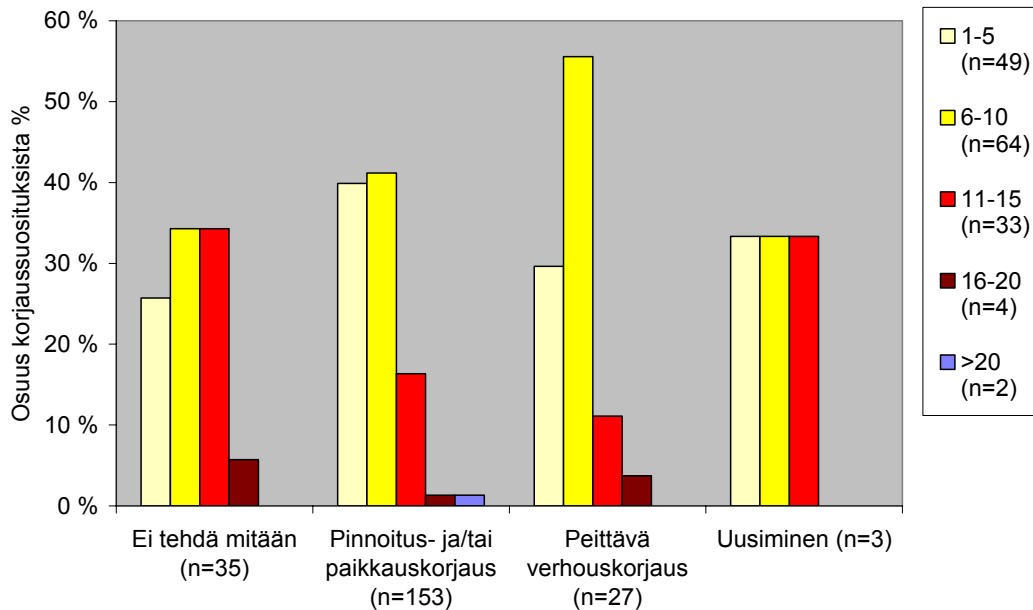
Kuntotutkimusraporteissa annetaan julkisivuille ja parvekkeille korjaussuositukset, jotka perustuvat rakenteiden vauriutilanteeseen. Yleensä kuntotutkimusraporteissa on ehdotettu useampia korjausvaihtoehtoja, jotka täyttävät eri vaatimuksia. Kevyin vaihtoehto määräytyy usein teknisten vaatimusten mukaan ja raskaammassa vaihtoehdossa on voitua ottaa huomioon myös taloudelliset tai esteettiset seikat.

Kuvassa 3.30 on verrattu julkisivujen kuntotutkimuksissa otettua keskimääräistä näytemäärää kyseisessä kuntotutkimuksessa julkisivuille suositeltuun korjausvaihtoehtoon. Näytemäärien hajontaa on kuvattu mustalla pystyviivalla. Jos kuntotutkimuksessa on todettu, että kohteessa ei ole välitöntä korjaustarvetta, näytteitä on otettu keskimäärin 1,5 kpl enemmän kuin jos on suositeltu verhouskorjausta ja keskimäärin 1,8 näytettä enemmän kuin jos suositellaan pinnoitus- ja/tai paikkauskorjausta. Hajonnasta nähdään, että korjaussuositukseen johtaneet näytemäärät vaihtelevat runsaasti. Peittävään korjaukseen on pienimmillään päädytty 2 näytteellä. Julkisivuelementtien ulkokuoren uusimiseen on päädytty keskimäärin 8 näytteen kuntotutkimuksella (tosin mukana on vain 3 kohdetta).



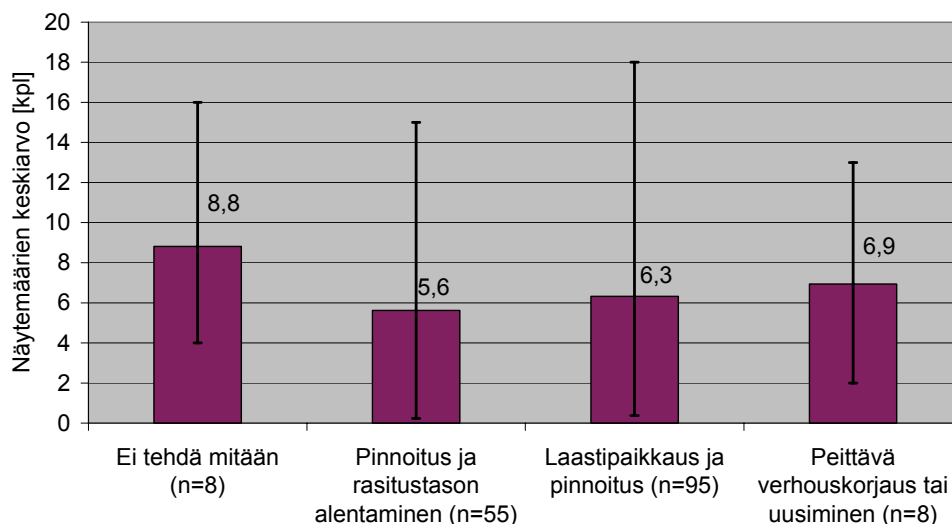
Kuva 3.30 Keskimääräinen näytemäärä, joilla suositeltuihin julkisivujen korjaustapoihin on päädytty (n=218).

Kuva 3.31 esittää jakaumat julkisivujen eri korjaussuositukseen johtaneista näytemääristä. Kuvasta nähdään, että pinnoitus- ja/tai paikkauskorjausta sekä verhouskorjausta päädytään yleisimmin suosittamaan alle 10 näytteellä. Kun näytteitä otetaan enemmän, saadaan enemmän tietoa rakenteesta ja voidaan päätyä suositukseen, ettei rakenne vaadi korjaustoimenpiteitä. Yleisin korjaussuositus julkisivurakenteille on ollut pinnoitus- ja/tai paikkauskorjaus. Peittävää korjausta on kevyimpänä vaihtoehtona suositeltu 27 kohteeseen.



Kuva 3.31 Näytemääräjakaumat, joilla suositeltuihin julkisivujen korjaustapoihin on päädytty (n=218).

Kuvassa 3.32 on verrattu keskimääräistä parvekkeiden kuntotutkimuksissa otettua näytemäärää kevyimpään suositeltuun korjausvaihtoehtoon. Myös parvekkeiden kohdalla havaitaan, että päädyttäessä siihen, että kohteessa ei ole välittömiä korjaustarpeita, näyteenotomäärä on keskimäärin suurempi kuin muissa toimenpidevaihtoehdoissa. Kun parvekerakenteille ei suositella tehtäväksi mitään korjaustoimenpiteitä, on tähän johtopäätöksen tekemiseksi tarvittu keskimäärin 3,2 näytettä enemmän kuin jos suositellaan parvekkeiden pinnoitusta ja rasiustason alentamista (esim. vedenpoistojärjestelmän uusiminen) ja keskimäärin 2,5 näytettä enemmän kuin jos suositellaan laastipaikkauskorjausta. Hajonnasta nähdään, että korjaussuosituksiin johtaneet näytemäärät vaihtelevat runsaasti. Kuvaa tulkitessa tulee ottaa huomioon niiden tapausten vähäinen lukumäärä (8 kpl), joissa ei tarvita korjaustoimenpiteitä verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

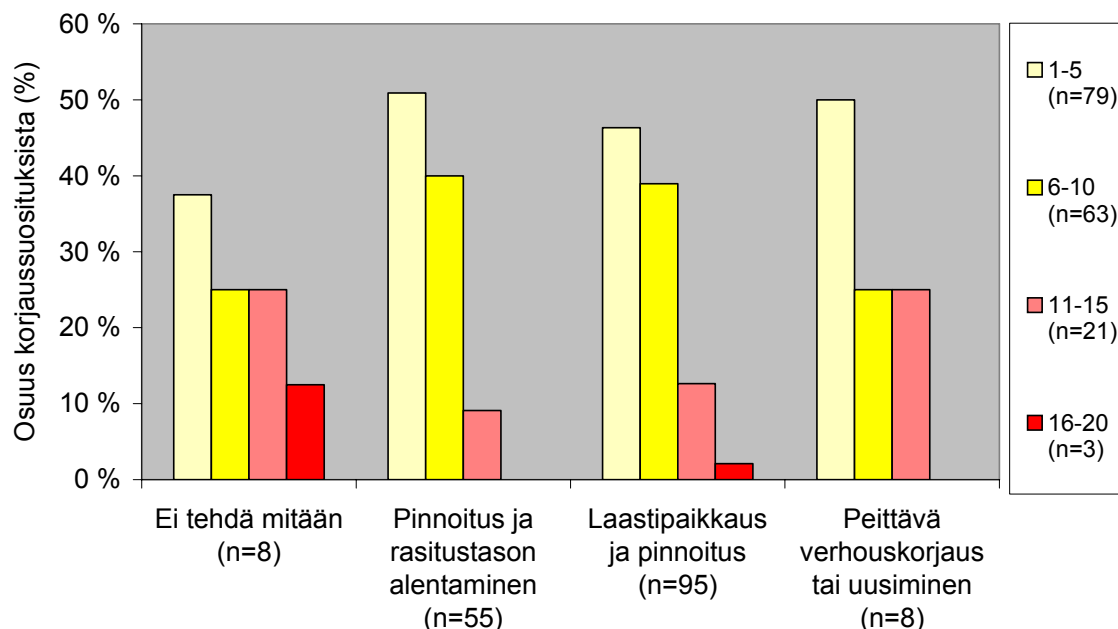


Kuva 3.32 Keskimääräinen näytemäärä, joilla suositeltuihin parvekkeiden korjaustapoihin on päädytty (n=166)

Kuva 3.33 esittää jakaumat parvekkeiden eri korjaussuosituksiin johtaneista näytemääristä. Vain 8 tapauksessa 166:sta on päädytty siihen, ettei ole tarvinnut suositella korjaustoimenpiteitä. Yleisin korjaussuositus on ollut parveke-elementtien laastipaikkaus- ja pinnoituskorjaus.

Parvekkeiden kuntotutkimukseen siis ryhdytään vasta siinä vaiheessa, kun korjaustoimenpiteet ovat jo välttämättömiä. 60 % tutkimuksista on johtanut vähintään laastipaikkaus- ja pinnoituskorjaukseen. Toinen vaihtoehto on, että korjaamatta jättämistä ei voida suositella liian kevyellä kuntotutkimuksella vaan korjaussuositukseen otetaan varmuutta mukaan.

Kun parvekerakenteista otettuja näytemääräjakaumia verrataan julkisivuista otettuihin, havaitaan, että parvekerakenteista otetaan suhteessa vähemmän näytteitä kuin julkisivuista.

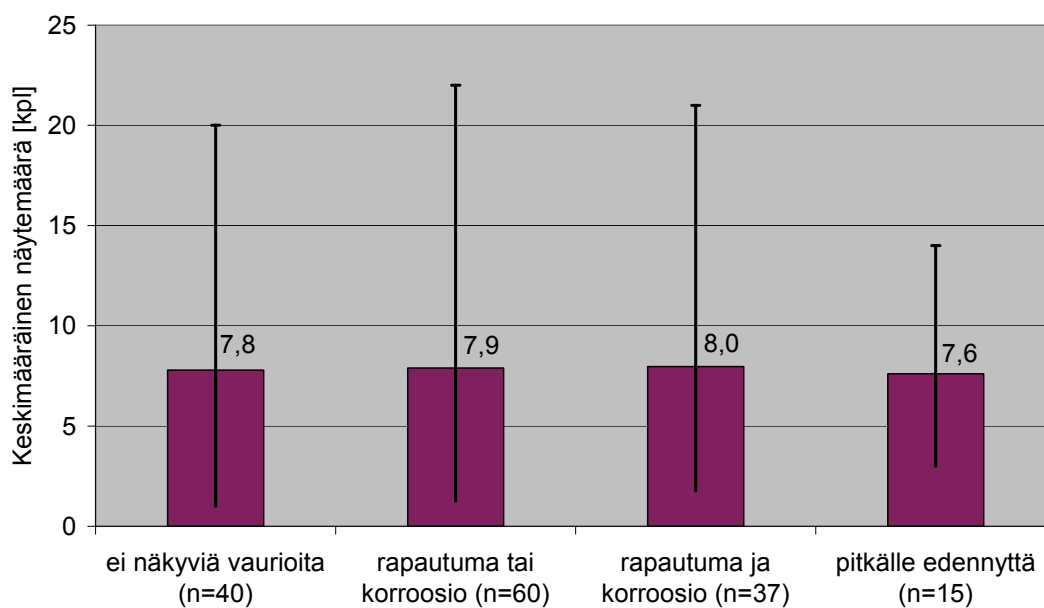


Kuva 3.33 Näytemääräjakaumat, joilla suositeltuihin parvekkeiden korjaustapoihin on päädytty (n=166)

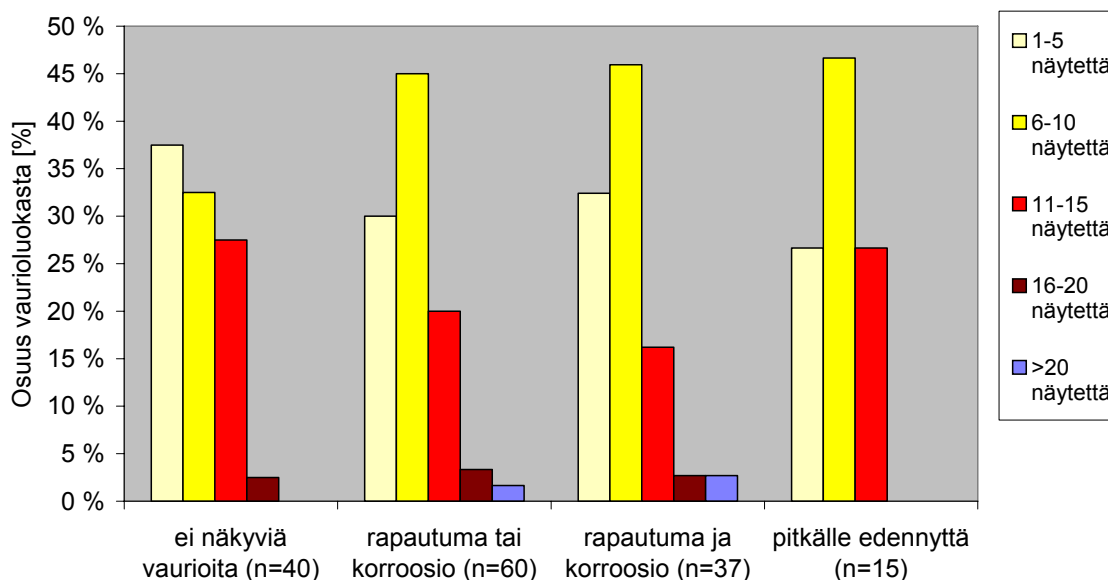
3.3.3 Kuntotutkimusten otanta vs. rakenteen kunto

Kuntotutkimusten otannan suuruus pitäisi oleellisesti riippua tutkittavan rakenteen kunnosta. By 42:n mukaan ulkonäöltään hyväkuntoisen rakenteen kunnan selvittäminen edellyttää perusteellisia ja laajoja tutkimustoimenpiteitä, koska alkuvaiheessa olevat vauriot eivät näy päällepäin. Sen sijaan huonokuntoisessa rakenteessa vauriot voivat olla todettavissa jo silmämääräisesti, eikä laajoja ja perusteellisia tutkimuksia ehkä enää tarvita.

Kuvissa 3.34 ja 3.35 on havainnollistettu näkyvien vaurioiden vaikutusta BeKo-tietokannassa olevien kuntotutkimusten otantaan. Kuvasta voidaan havaita, että vaikka kohteessa on näkyvissä pitkälle edenneitä korroosio- tai pakkasrapautumavaurioita, ei tämä ole vaikuttanut otantaa pienentävästi.



Kuva 3.34 Näkyvien vaurioiden vaikutus julkisivujen kuntotutkimuksen otantaan (n=152)



Kuva 3.35 Näkyvien vaurioiden vaikutus julkisivujen kuntotutkimuksen näytemääräjakaumiin (n=152)

3.3.4 Yhteenveto kuntotutkimusten näytemääristä

Kuntotutkimusten laatua ei voida arvioida pelkästään näytemäärää arvioimalla. Oleellista on, että kuntotutkimus on riittävä rakenteen vauriutilanteeseen ja kuntotutkimukselle asetettuihin tavoitteisiin nähden. Kuntotutkimus suoritetaan aina otantana sekä näytteenoton että silmämääräisen tarkastelun suhteen. Kulloinkin tarvittavan otoskoon suuruus riippuu siitä, mikä on kyseisen suureen ja sen tarkkuuden merkitys johtopäätöksiä tehtäessä.

Tietokannan mukaan julkisivujen ja/tai parvekkeiden kuntotutkimuksissa otetaan keskimäärin 12,5 näytettä jokaisesta tutkittavasta rakennuksesta. BeKo-tietokannan kuntotutkimuksista suurin osa (28 %) on tehty 6 - 10 näytteellä. 11 - 15 näytteen kuntotutkimuksia tietokannassa on 22 %, mutta myös 1 - 5 näytteen sisältämien kuntotutkimusten osuus on melko suuri (18

%). Yleisesti kuntotutkimuksissa on otettu huomattavasti vähemmän näytteitä, kuin mitä nykyinen Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002 -ohje suosittaa.

BeKo-tietokannasta havaitaan myös, että kun kuntotutkimuksen tuloksena on ettei rakenteessa ole korjaustarvetta, on tutkimuksessa otettu enemmän näytteitä kuin tapauksessa jolloin on suositeltu korjaustoimenpiteitä. Näkyvien vaurioiden esiintyminen ei ole vaikuttanut kuntotutkimusten otantaan.

4 KUNTOTUTKIMUS KORJAUSTAVAN VALINNASSA

Kuntotutkimusten merkitystä kiinteistöjen ylläpidossa sekä korjaustavan valinnassa selvitettiin 12 eri puolilta Suomea olevien case-kohteiden avulla sekä näiden kohteiden suunnittelijoiden, tilaajien ja valvojen haastatteluilla.

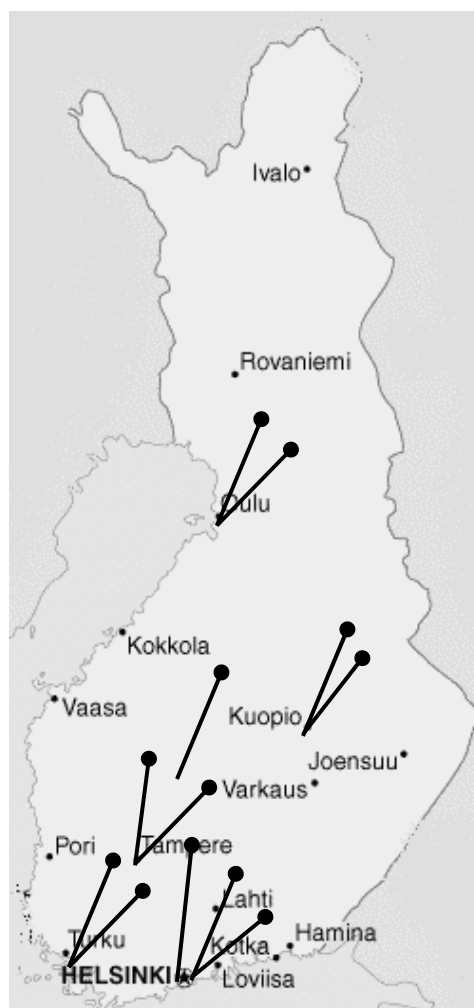
Tavoitteena oli selvittää, minkälaiset asiat vaikuttavat julkisivukorjausprosessin onnistumiseen sekä minkälaisia kehittämistarpeita kohdistuu kuntotutkimuksiin tai korjausten päätöksentekoprosessiin.

4.1 Case-kohteet

Tutkimuksessa oli mukana 12 julkisivu- ja/tai parvekekorjauskohdetta eri puolilta Suomea. Kahdessa kohteessa oli korjattu pelkästään parvekkeet. Kohteet ovat 3 - 8 kerroksisia betonielementtikerrostaloja, jotka on rakennettu vuosina 1969 - 1990.

Kohteiden maantieteellinen sijainti on esitetty kuvassa 4.1. Pohjoisimmat kohteet sijaitsivat Oulussa ja eteläisimmät pääkaupunkiseudulla.

Taulukossa 4.1 on esitetty kohdekohtaiset kohteiden tunnistetiedot sekä kuntotutkimusten teettämiseen ja korjaustavan valintaan liittyviä asioita. Ensimmäisissä sarakkeissa on kohteiden rakennusvuosi, rakennusten koko ja lukumäärä sekä julkisivun pintatyyppi. Kuudennessa sarakkeessa on merkitty, onko kohteeseen tilattu kuntotutkimus kunnossapito-ohjelman mukaisesti vai näkyvien vaurioiden perusteella. Viimeisessä sarakkeessa on maininta siitä, onko korjaustapana käytetty kuntotutkimuksen suosittamaa tapaa. Kuntotutkimuksen teettämiseen ja korjaustavan valintaan vaikuttavat useat eri tekijät. Taulukkoon on laitettu valintaan eniten vaikuttanut tekijä.



Kuva 4.1 Tutkimuksessa mukana olevien case-kohteiden sijainti.

Taulukko 4.1 Tutkimuksessa mukana olleet case-kohteet.

Kohteen sijainti	Rakennusvuosi	Krs-lkm.	Rakennusten lkm.	Julkisivun pintatyyppi	Kuntotutkimuksen peruste		Valittiinko kuntotutkimuksen suositus
					Näkyvät vauriot	Kunnossapito-ohjelma	
Vantaa	1969	1+6	1	Pesubetoni			lisätutkimusten myötä kevyempi tapa
Kauniainen	1970	1+3	2	Tiililaatta	x		pääosin
Tampere	1970-71	3		Maalattu			
Kuopio	1976	3-5	3	Pesubetoni		x	kevyempi tapa
Tampere	1977	1+8	1	Maalattu			pääosin
Turku	1976-77	1+3	3	Pesubetoni		x	kevyempi korjaustapa
Jyväskylä	1979-80	3-6	2	Pesubetoni	x	x	pääosin
Vantaa	1980	7	1	Pesubetoni		x	pääosin
Salo	1981	1+3	1	Pesubetoni		x	lisätutkimusten myötä kevyempi tapa
Kuopio	1980-81	3	6	maalaamaton/peltiverhous		x	pääosin
Oulu (parv)	1987	3	2	-	x		pääosin
Oulu (parv)	1990	2-3	3	-	x		ei suositusta

Noin puolessa tutkimuksessa mukana olevissa kohteissa kuntotutkimus teetettiin rakenteiden kunnossapito-ohjelman mukaisesti tietyn ajan kuluttua rakennuksen valmistumisesta. Lopullista kuntotutkimusta edelsi muutamassa kohteessa suppeasti tehty kuntotutkimus, johon perustuen ei kuitenkaan voitu aloittaa varsinaista korjaussuunnittelua vaan ennen korjaussuunnittelua otettiin lisänäytteitä tai tehtiin kattavampi kuntotutkimus. Puolessa kohteissa kuntotutkimus tilattiin näkyvien vaurioiden perusteella.

Korjaustavaksi valittiin kuudessa kohteessa kuntotutkimuksen suositus joko sellaisenaan tai hieman muunneltuna. Neljässä kohteessa päädyttiin kevyempään korjaustapaan kuin mitä kuntotutkimuksessa oli suositeltu. Kevyemmän korjaustavan valintaa edelsi kahdessa kohteessa tarkemmat lisätutkimukset.

4.2 Kiinteistöstrategia

4.2.1 Yleistä kiinteistöstrategioista

Kiinteistöstrategialla tarkoitetaan kiinteistönomistajien tapaa tehdä rakennuksessa olevan toiminnan turvaamiseksi tehtävään tarpeelliseen ylläpitoon liittyviä päätöksiä. Kiinteistön pito sisältää ylläpitovaiheessa vuosittaisen hoidon ja kunnossapidon (Haukijärvi et al. 2006).

Kiinteistöstrategian valinta riippuu omistajan asettamasta kiinteistön toiminta-ajatuksesta. Julkisivujen kunnossapidossa on yleensä valittavissa neljä toimintatapaa (Haukijärvi et al. 2006):

- 1) Ennakoiva kunnossapito, jolloin varmistetaan, että missään vaiheessa eivät rakennusosan alkuperäiset ominaisuudet alene. Tämä edellyttää, että rakennusosassa tehdään kunnossapitotoimenpiteet hieman ennenaikaisesti ja riittävän perusteellisesti.
- 2) Suunnitelmallinen, ohjeellisiin kunnossapitajaksoihin perustuva kunnossapito, jolloin rakennusosassa tehdään rakennusvaiheessa laaditun ohjelman perusteella suunnitellut toimenpiteet. Kunnossapitotoimenpiteet kriittisten rakennusosien ja -järjestelmien kohdalla tehdään ennen vian syntymistä. Strategian soveltaminen edel-

lyttää kiinteistöhoitoprosessissa tehtävää toiminnan olosuhteiden jatkuvaa seuranta-

- 3) Tarpeenmukainen ohjelmoitu kunnossapito, joka perustuu kuntoarvion ja täydentävien kuntotutkimusten perusteella laadittuun kunnossapitosuunnitelmaan.
- 4) Kunnossapidosta luopuminen, jolloin rakennusosan annetaan vaurioitua korjauskelvottomaksi ja rakennusosa korvataan lopulta uudella. Usein kunnossapidon laiminlyönnin strategia johtaa välillisten vaurioiden ja terveyshaitan riskin kasvamiseen.

4.2.2 Kiinteistöstrategiat käytännössä

Haastattelujen perusteella yleisin ulkorakenteiden kunnossapitotapa on tarpeenmukainen kunnossapito, joka perustuu kuntoarvioihin tai kuntotutkimuksiin. Myös ohjeellisiin kunnossapitojaksoihin perustuva kiinteistöpito on kiinteistön omistajien keskuudessa hyvin yleistä.

Kunnossapito-ohjelmissa esiintyy huomattavaa alueesta ja kiinteistönomistajasta riippuvaa vaihtelua. Pääosin voidaan sanoa, että alueilla, joissa julkisivujen ja parvekkeiden korjaus on vilkkainta, pyritään julkisivurakenteiden jatkuvalla seurannalla ja pienimuotoisella huoltotoiminnalla pidentämään rakenteiden käyttöikä. Tällöin ongelmat havaitaan ja ongelmiin puututaan jo ennen varsinaista vaurioitumista ja korjaustoimenpiteet ovat pääasiassa kevyitä korjauksia. Alueilla, joilla julkisivujen korjaus on vasta yleistymässä, ei varsinaista huoltotoimintaa julkisivu- ja parvekerakenteille ole säännöllisesti tehty, vaan julkisivujen perusteellinen korjaus tehdään pääasiassa peruskorjauksen yhteydessä, noin 25 - 40 vuoden iässä. Tällöin joudutaan useimmiten tekemään perusteellinen korjaus.

Haastatteluissa ilmeni, että julkisivujen korjaaminen on selkeästi vilkkainta pääkaupunkiseudulla ja Turun alueella. Pääkaupunkiseudulla kuntotutkimustoiminta on käynnistetty hieman aiemmin kuin muualla Suomessa (Weijo 2008). Kuntotutkimukset on pääkaupunkiseudulla tehty keskimäärin 4 vuotta nuorempiin rakennuksiin kuin muualla Suomessa.

Julkisivujen ja parvekkeiden korjaamiseen käytettävissä olevat rajalliset resurssit ovat tehtyjen haastattelujen mukaan merkittävässä roolissa korjauksista päätettäessä. Käytössä olevien resurssien kohdistamisessa on vaihtelua. Yleisimmin resurssit pyritään kohdistamaan siten, että saavutetaan kokonaisvaltaisesti hyvä tuotto. Etelä-Suomen kasvukeskuksissa korjauksia ulotetaan sekä rakennuksen sisätiloihin että ulkorakenteisiin. Muualla maassa käytettävät resurssit on usein kohdistettu joko sisätilojen korjaukseen tai ulkorakenteisiin. Rakennukset eivät myöskään ole välttämättä tuotoiltaan samanarvoisia ja ovat paikoin sen suhteen myös eri asemassa korjauksia suunniteltaessa. Korjaustoimenpiteitä kohdistetaan siis myös sen mukaan, minkälaisella alueella rakennus sijaitsee tai miten rakennus sijoittuu ympäristöönsä. Joillakin alueilla julkisivuille sallitaan vähemmän ulkonäöllisiä vaurioita ja korjaukselle asetetaan suuremmat esteettiset vaatimukset kuin toisilla alueilla. Kuinka paljon ulkonäöllistä vaurioitumista sallitaan, riippuu mm. naapurirakennuksista, sijainnista ja käytettävissä olevista resursseista. Resurssien rajallisuus vaikuttaa myös mm. siten, että joidenkin rakennusten korjauksia on siirrettävä, vaikka niiden tekninen korjaustarve olisikin jo ajankohdainen. Huoltotoimintaa joudutaan tällöin usein laiminlyömään ja lopulta päädytään raskaaseen korjaukseen.

4.2.3 Rakenteen vaurioitumisen seuranta kuntoarvioilla ja kuntotutkimuksilla

Haastatteluiden mukaan julkisivu- ja parvekerakenteiden korjaushankkeen käynnistää useimmiten rakenteen näkyvä vaurioituminen. Kun kiinteistön omistaja, isännöitsijä, huoltomiehet tai asukkaat havaitsevat rakenteissa näkyviä vaurioita, kuten korroosiovaurioita tai pakkasrapautumaa, tulee tarve selvittää rakenteen todellinen kunto kuntotutkimuksella.

Käytössä on myös systemaattisempia kunnon seurantatapoja. Kiinteistöjen kuntoa seurataan säännöllisesti isännöitsijöiden tekemillä arvioinneilla noin kahden vuoden välein ja kuntotutki-

joiden tekemillä silmämääräisillä kuntoarvioilla 5-10 vuoden välein. Kiinteistöjen isännöitsijät kuitenkin keskittyvät arvioinneissaan pääasiassa kiinteistöjen sisätilojen vaurioiden kartoittamiseen. Tarkempi kuntotutkimus tilataan kuntoarvioinnin havaintojen perusteella tai viimeistään, kun rakennus alkaa tulla korjausikään eli noin 15 vuoden iässä. Tällöin tutkimus ei välttämättä johda korjaustoimenpiteisiin vaan tutkimuksessa mahdollisesti havaittua vaurioitumista seurataan säännöllisesti, esim. 5 vuoden välein, tai tarvittaessa tehtävillä tutkimuksilla ja korjaustoimenpiteet ajoitetaan teknisen kunnan edellyttämään ajankohtaan. Systemaattisesta kunnonseurantajärjestelmästä poikkeuksen tekevät kiinteistöt, jotka on ostettu käytettyinä toiselta omistajalta. Näissä kunnossapitotoimenpiteet ja kunnan seuranta on usein lainlyöty ja ostovaiheessa kiinteistö on jo peruskorjausvaiheessa.

4.3 Kuntotutkimukset

4.3.1 Kuntotutkimusten rooli ja painoarvo

Etelä kasvukeskuksissa kuntotutkimustoiminta on järjestelmällistä. Kuntotutkijoilla on julkisivujen- ja parvekkeiden tutkimisesta kokemusta ja kuntotutkimustoiminta on systematisoitunutta. Eri tutkijoiden toimintatavoissa ei ole huomattavia eroja. Kuntotutkimuksen tuloksena ovat johtopäätökset kenttä- ja laboratoriokokeista, korjaustapasuositukset ajankohtineen ja korjausten kustannusarvio. Eri tutkijoiden tekemien kuntotutkimusten tuloksena syntyneiden raporttien sisältö ei poikkea oleellisilta osiltaan toisistaan.

Etelän kasvukeskusten ulkopuolella, alueilla joissa julkisivujen korjaustoiminta on vasta yleistyessä, ei kuntotutkimuksiin ole vielä löytynyt vakiintuneita toimintatapoja. Korjaussuunnittelun pohjaksi saatetaan teettää kevyempiä tutkimuksia, joissa otetaan muutamia näytteitä ja näistä teetetään erilaisia laboratoriotutkimuksia. Varsinaista kohteen kuntotutkimusta ei tehdä ja tällöin tutkimuksesta syntynyt raportti ei myöskään usein sisällä korjaussuosituksia tai kustannusarvioita. Tutkimustulosten analysointi ja korjaustavan valinta on tällöin jätetty korjaussuunnittelijan tehtäväksi. Tällöin korjaussuunnittelijalta edellytetään tarkempaa tutustumista kohteeseen, vauriokartoituksen tekemistä ja mahdollisesti lisänäytteiden ottamista ennen sopivan korjaustavan valintaa.

4.3.2 Kuntotutkimusten sisältö

Kuntotutkimusten sisältö määritellään Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002 -ohjeessa. Kuntotutkimuksessa rakennusosan tai rakennusosakokonaisuuden kunto ja toimivuus sekä korjaustarve selvitetään systemaattisesti eri vauriotapojen suhteen käyttäen erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita ovat mm. suunnitelma-asiakirjojen tarkasteleminen, kohteen silmämääräinen tarkasteleminen, erilaiset kentällä tapahtuvat mittaukset ja -tutkimukset sekä näytteenotto ja laboratoriotutkimukset. Tarkoituksena on saada selville tutkimushetkellä olemassa olevien vaurioiden syyt, laajuus ja vaikutukset sekä tämän lisäksi ennakoida myös tulevaisuudessa syntyvät vauriot jo siinä vaiheessa, kun varsinaisia näkyviä vaurioita ei ole olemassa. Tiedot kerätään otoksina ja rakenteen ominaisuudet ja kunto vaihtelevat rakenteen eri osissa. Siten vanhan rakenteen kunnan tutkimiseen liittyy aina epävarmuutta, jota pyritään pienentämään käyttämällä vauriotapojen tutkimiseen rinnakkaisia menetelmiä ja keräämällä tietoja mahdollisimman monesta lähteestä.

Tutkimuksessa mukana olleiden case-kohteiden kuntotutkimusten sisältö oli pääosin By 42 mukainen. Mukana oli myös kohteita, joihin ei ollut tehty varsinaisia kuntotutkimuksia vaan rakenteista oli otettu yksittäisiä näytteitä, joiden pohjalta korjaussuunnittelu oli käynnistetty. Kuntotutkimuksissa otettu näytemäärä oli kuitenkin pääosin By 42 edellyttämää pienempi. Haastatellut kuntotutkijat ja suunnittelijat toivatkin ilmi, että usein korjauspäätösten tueksi olisi tarve tehdä perusteellisempia tutkimuksia, mutta tilaajien maksuvalmius ei aina kohtaa tätä tarvetta. Ongelma koskee pääasiassa asunto-osakeyhtiöiden omistamia kohteita. Suuret vuokratiloyhtiöt ovat asian suhteen valveutuneempia ja ovat valmiita panostamaan kuntotutkimukseen.

Suppea kuntotutkimus johtaa keskustelujen mukaan yleensä siihen, että korjaussuunnittelu- vaiheessa tehdään lisätutkimuksia. Yleisin lisätutkimus on erilaiset haitta-ainetutkimukset, kuten elastisten saumojen PCB- ja lyijymääritykset sekä asbestikartoitukset, mutta myös kattavampia tutkimuksia saatetaan tehdä. Kevyt kuntotutkimus saattaa johtaa myös siihen, että korjausvaiheessa tulee eteen yllätyksiä, jotka aiheuttavat lisäkustannuksia. Tyypillisiä kevyen kuntotutkimuksen seurauksena tulevia lisätutkimuksia ovat lisääntyneestä piikkauksesta aiheutuneet kustannukset ja elementtien varmistuskiinnitykset.

Kuntotutkimusten tilaajat ja osin korjaussuunnittelijat nostaisivat kuntotutkimusraporteissa analyysit ja johtopäätökset selkeämmin esille. Kuntotutkimusraportit koetaan sekaviksi. Yksittäisiä näytekohaisia tutkimustuloksia luetaan vain harvoin ja niiden koettiin saavan raporteissa liian suuri rooli.

4.3.3 Kuntotutkimusten perusteella annetut korjaussuosituks

Kuntotutkimusraportti sisältää yleensä rakenteen vaurioilanteeseen ja vaurioiden etenemisen arviointiin perustuvan korjaussuosituksen. Haastatteluissa tuli esille, että tilaajien kokemusten mukaan useille 1990-luvulla tutkituille kohteille suositeltiin raskaita korjauksia ja jäljellä olevat käyttöiät arvioitiin lyhyiksi. Vaikka näille kohteille ei tuolloin tehty kuntotutkimuksen jälkeen julkisivujen korjauksia, ei rakenteiden vaurioituminen edennyt kuntotutkimuksissa ennustetulla tavalla. 10 vuotta myöhemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu vaurioitumisen edenneen huomattavasti ennustettua hitaammin ja aiemman suosituksen mukaiset korjaukset olisivat tuolloin tehtynä olleet turhan raskaita.

Pääosin näihin kokemuksiin perustuen tilaajien ja valvojen mielestä kuntotutkimusten korjaussuosituksissa on osin mukana liikaa varmuutta. Kuntotutkimuksissa suositellaan liian nopealla aikataululla raskaita korjauksia. Tilaajat kaipaavat kuntotutkijoilta tarkempaa ja varmempaa kannanottoa rakenteen jäljellä olevaan käyttöikään. Osin myös koettiin, että kuntotutkimuksissa annettavat kustannusarviot ovat liian alhaisia.

4.3.4 Kuntotutkijan valinta

Kuntotutkimuksissa kerätyt tiedot välittyvät korjaussuunnittelijoille pääasiassa kuntotutkimusraporttien kautta. Kuntotutkijat ja korjaussuunnittelijat ovat vain harvoin muulla tavoin yhteydessä toisiinsa. Suunnittelijoiden mukaan ei ole merkitystä, onko kuntotutkija sama taho kuin korjaussuunnittelija. Suunnitteluun tarvittava lähtötieto löytyy kuntotutkimusraportista edellyttäen että kuntotutkimus on ollut riittävän kattava. Mikäli kuntotutkimus on ollut puutteellinen, joudutaan suunnitteluvaiheessa ottamaan lisänäyitteitä korjaussuunnittelun tueksi.

Haastatteluissa ilmeni, että tavanomaisesti kiinteistöjen omistajat käyttävät sellaisia kuntotutkijoita ja korjaussuunnittelijoita, joiden kanssa on totuttu toimimaan. Kun tunnetaan eri osapuolten toimintatavat, on yhteistyön sujumiseen liittyvät riskit pienemmät. Joskus suunnittelijaksi valitaan tietoisesti eri taho kuin kuntotutkija. Tällä pyritään saamaan lisänäkemyksiä korjausvaihtoehtoihin.

4.4 Korjaustavan valinta

4.4.1 Korjaustavan ja -ajankohdan valinta

Käytettävän korjaustavan ja korjausajankohdan valitsee kuntotutkimuksen ja korjaussuunnittelun perusteella kiinteistön omistaja eli korjaustyön tilaaja. Valittavasta korjaustavasta neuvottelevat yleensä tilaaja ja korjaussuunnittelija keskenään. Korjaussuunnittelu käynnistyy kuntotutkimuksen pohjalta ja yleensä korjaussuunnitteluun valitaan kuntotutkimuksen suosittelu korjaustapa. Kuntotutkimuksessa suositellusta korjaustavasta ja -ajankohdasta poikeetaan vain harvoin ja silloin päätöksellä on perusteelliset syyt. Mikäli kuntotutkimuksen teke-

misestä on kulunut paljon aikaa, yleensä yli 5 vuotta, tehdään usein lisätutkimuksia ennen lopullisen korjaustavan valintaa.

Arkkitehdin tehtävänä on pääasiassa määrittää korjauksessa käytettävä värimaailma ja suunnitella muutettavat yksityiskohdat, kuten uudet räystäslinjat, sisääntulokatokset ja parvekekaiteet. Arkkitehdit ovat yleensä aktiivisesti mukana suunnittelussa, mutta he eivät ota kantaa betonirakenteiden korjaustapaan.

Korjaustavan valintakriteerit

Haastateltujen tilaajien ja korjaussuunnittelijoiden mukaan korjaustavan ja -ajankohdan valintaan vaikuttavia asioita ovat:

- korjauksen tekninen tarve (rakenteen vaurioituminen)
- tilaajan tavoitteet korjaukselle (korjauksen pitkäikäisyys, kokonaistaloudellisuus, arkkitehtuuri, laatutason parannus)
- taloudelliset resurssit
- korjauksen esteettinen tarve (rakenteen vaurioitumisen aiheuttama esteettisyyden väheneminen)
- työvoiman saatavuus
- liittyminen muihin korjauksiin.

Tilaaja määrittelee korjaustavan ja -ajankohdan korjaussuunnittelijan esityksen pohjalta. Usein määräävin tekijä on rakenteen vaurioituminen eli korjauksen tekninen tarve. Korjauksilla pysäytetään vaurioituminen ja poistetaan sen aiheuttaja.

Tilaajan lähtökohtana korjaustapaa valitessa on useimmiten kokonaistaloudellisuus eli korjauksella haetaan ensisijaisesti pitkää käyttöikää. Lyhytnäköisen välttämättömien näkyvien vaurioiden korjaamisen sijaan korjaukseen ollaan valmiita panostamaan kerralla enemmän. Mikäli kahden vaihtoehdoisen korjaustavan kustannukset eroavat vain hieman toisistaan, valitaan usein kustannuksiltaan korkeampi ja pidemmän käyttöiän lupaavampi korjaus. Korjaustavan valinnassa tilaajan näkökulmana on myös energiatalous, jolloin korjaustapana suositaan lisälämmöneristämistä.

Käytössä olevilla taloudellisilla resursseilla on huomattava painoarvo korjaustapaa valitessa. Tilaaja määrittelee usein kustannuksille katon, jolloin korjaustapa on valittava tämän reunaehdon puitteissa. Tällöin korjauksella ei välttämättä saavuteta tavoitteen mukaista pitkäikäisyyttä ja esteettisyyttä. Toisaalta kun kahden vaihtoehdoisen korjauksen kustannukset ovat lähellä toisiaan, päädytään usein valitsemaan laadukkaamman lopputuloksen antava korjaus.

Rakennusten esteettisten arvojen merkitys vaihtelee alueittain vain hieman. Pääsääntöisesti voidaan sanoa, ettei esteettisesti epätydyttävää lopputulosta antavaa korjausta valita. Teknisen tarpeen täyttävistä korjaustavoista valitaan se, joka antaa esteettisesti parhaimman lopputuloksen. Korjauksesta ollaan valmiita maksamaan tiettyyn rajaan asti enemmän, jotta saavutetaan ulkonäöllisesti parempi lopputulos. Tilaajan tavoitteena korjaukselle saattaa olla vajaakäytössä olevien kohteiden laatutason parantaminen. Ulkonäköön panostamalla saadaan taloista houkuttelevampia ja siten niiden käyttöaste ja tuotto nousevat. Esimerkiksi parvekelaseilla ja hisseillä rakennusten houkuttavuus kasvaa.

Kaupunki tai kunta asettaa osin rajoituksia valittavalle korjaustavalle. Viranomaiset ottavat huomioon mm. ympäröiviin rakennuksiin tehdyt korjaukset. Pääkaupunkiseudulla on muutamalle lähiölle annettu suojelukaava. Myös muualla asetetaan rajoituksia valittavan korjaustavan ulkonäölle, esim. valittavien värien suhteen.

Korjaustavan ja etenkin korjausajankohdan valintaan vaikuttaa paikoin myös ammattitaitoisen työvoiman saatavuus. Ammattitaitoisista julkisivukorjauksiin erikoistuneista työntekijöistä

on pulaa koko Suomessa. Etelä-Suomen ulkopuolella on pulaa julkisivukorjauksiin erikoistuneista yrityksistä, sillä korjaustoiminta ei näillä alueilla ole vielä vilkasta. Äärimmäisessä tapauksessa korjaustapa joudutaan valitsemaan sen mukaan, minkälaiseen korjaustapaan erikoistuneita urakoitsijoita on saatavilla. Urakkatarjouspyyntöjen kanssa on koko Suomessa yleisesti oltava ajoissa liikkeellä.

Korjausajankohdan valinnassa noudatetaan myös hyvin pitkälle kuntotutkimuksessa annettua suositusta. Korjaukset pyritään usein suhteuttamaan muihin korjauksiin, kuten linjasaneerauksiin, sisätilojen korjauksiin ja hissien rakentamiseen. Esim. julkisivu- ja parvekekorjaukset pyritään tekemään samanaikaisesti, vaikka niiden korjaustarve tuleekin yleensä ajankohtaiseksi eri aikoina.

4.5 Kuntotutkijan ammattitaidolla keskeinen merkitys korjaustavan valinnassa

Tehdyissä haastatteluissa tuli ilmi kuntotutkimusten keskeinen asema rakennuksen kunnan, jäljellä olevan käyttöiän sekä korjaustarpeen ja korjausajankohdan määrittelyssä. Korjaushankkeessa kuntotutkijan ammattitaito on aivan keskeinen oikean korjaustavan määrittelyssä sekä korjaamisesta syntyvien kustannusten synnyssä, sillä:

- kuntotutkija laatii tutkimusohjelman, jonka perusteella kuntotutkimus suoritetaan
- tutkimustulosten perusteella kuntotutkija tekee analyysin rakenteen kunnosta, vaurioiden etenemisestä tulevaisuudessa sekä korjaustarpeesta ja -ajankohdasta
- kaikki informaatio välittyy tilaajalle ja suunnittelijalle lähinnä kuntotutkimusraportin kautta
- korjauspäätökset ja korjausajankohdan valinta tapahtuu ensisijaisesti kuntotutkimuksen suositusten perusteella
- kohteen korjaussuunnittelu pohjautuu kuntotutkimuksessa tehtyihin havaintoihin.

Tutkimusohjelma ja kuntotutkimuksen suoritus

Vanhan rakenteen kunnan tutkimiseen liittyy aina epävarmuutta, sillä tiedot kerätään otoksin ja rakenteen ominaisuudet sekä kunto vaihtelevat rakenteen eri osissa. Luotettavan tuloksen saamiseksi kuntotutkimus olisi tehtävä käyttäen rinnakkaisia toisiaan täydentäviä tutkimusmenetelmiä ja riittävää näytemäärää.

Perusteellisella kuntotutkimuksella pystytään usein määrittämään tekniseen kuntoon optimaalisesti soveltuva korjaustapa, jolloin saatetaan säästää lopullisissa korjauskustannuksissa huomattavia summia. Yhtenä tekijänä kuntotutkimuksen luotettavuudessa on, kuinka tarkasti tutkimuksessa kerätty otanta vastaa rakenteen todellista kuntoa. Usein otoskoon suuressa kuntotutkimuksen tarkkuus paranee.

By 42:n mukaan jokaisesta rakennetyypistä pitäisi ottaa vähintään 3 rinnakkaista näytettä. Tutkimuksessa tuli ilmi, että kuntotutkimuksia suoritetaan suositeltuja näytemääriä suppeammilla otannoilla. Tyypillisessä 1960- ja -70-lukujen kerrostalossa on yleensä vähintään 5 erilaista rakennetyyppiä: pitkien sivujen ruutuelementit, päätyjen umpielementit, parvekelaatat, parvekepielet ja parvekekaiteet. Lisäksi sokkelielementit ja ullakon kuorielementit on yleensä tutkittava erikseen. Tällöin näytemäärän tulisi olla vähintään 15 - 21 tutkittavaa rakennusta kohden. Mikäli erilaisia pintatyyppisiä on useita, on elementtejä jaoteltava tätäkin tarkemmin. BeKo-tietokannan sisältämissä kuntotutkimuksissa on otettu keskimäärin 12,5 näytettä. 55 % tietokannan kuntotutkimuksista on tehty 6 - 10 näytteellä. Kuntotutkimusten otanta on siis huomattavasti suositeltua suppeampi.

On kuitenkin otettava huomioon, että edellä esitetty näytemäärien vertailu ei kerro kaikkea kuntotutkimuksen riittävydestä. Joissain tapauksissa kohteessa on esimerkiksi jo silmämääräisesti havaittavaa laaja-alaista ja pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa, jolloin on perusteltua ottaa vain muutamia näytteitä sopivan korjaustavan löytämiseksi.

Tulosten analyysi

Kuntotutkimuksen yhteydessä tehdyt mittaukset ja havainnot eivät ole kuntotutkimuksen tulos. Kaikki mittaustulokset ja havainnot analysoidaan erikseen jokaisen vaurioitumismekanismiin sekä rakenteen suhteen. Viimeistään analyysi vaiheessa tulee havaintoja ja mittaustuloksia tarkastella kriittisesti eli onko käytössä tarpeeksi luotettavaa informaatiota johtopäätösten tekemiseksi. Tarvittaessa tutkimusta on täydennettävä lisätutkimuksin.

Puutteellisilla havainnoilla tai mittauksilla tehtyjen korjaussuositusten mukaisissa ratkaisuissa saattaa tulla yllätyksiä korjausvaiheessa, jotka aiheuttavat lisäkustannuksia. Kaikkiin yllätyksiin ei ole kuitenkaan mahdollista varautua etukäteen. Korjausrakentamiseen liittyy aina epävarmuutta ja yllätystekijöitä, joita ei ole mahdollista ennakoita.

Kuntotutkimusraportti

Kuntotutkijan havainnot, päätelmät ja korjaussuositukset siirtyvät eteenpäin pääasiassa kuntotutkimusraportin muodossa. Tästä syystä raportin selkeyteen tulisi panostaa. Hyväksi havaittuja toimia ovat olleet kuntotutkimusten esittely tilaajille ja mahdollisille suunnittelijoille. Tässä tilaisuudessa on mahdollista tehdä täydentäviä ja tarkentavia kysymyksiä sekä keskustella havainnoista ja korjausvaihtoehdoista tarkemmin.

Korjausten ajankohta ja vaurioitumisen eteneminen

Rakenteiden jäljellä olevan käyttöiän ja korjausten ajankohdan arviointi perustuu lähinnä kuntotutkijan havaintoihin ja kokemukseen vastaavista kohteista. Olemassa olevalle rakennuskannalle ei ole olemassa yleisesti hyväksytyjä käyttöikämallia, joiden avulla rakenteen jäljellä olevaa käyttöikää olisi mahdollista arvioida.

Tilajaat odottavat kuntotutkimuksilta nykyistä varmempaa kannanottoa jäljellä oleviin käyttöikäihin. Kiinteistönomistajien haastatteluissa kuntotutkimusten korjaussuositukset koettiin liian perusteellisiksi ja kuntotutkimusten antamat jäljellä olevat käyttöiät suhteellisen lyhyiksi. Tämä selittyy osin sillä, että julkisivujen kuntotutkimus- ja korjaustoiminta käynnistyi pikkuhiljaa 90-luvulla. Kuntotutkimusten alkuaikoina ei ollut kokeneita tutkijoita ja kuntotutkimuksiin liittyi paljon epävarmuutta. Pääasiassa näistä syistä kuntotutkimusten korjaussuositukset annettiin usein varman päälle. Korjaustapojen ja eri materiaalien pitkäikäisyyttä ei myöskään vielä tunnettu. Nykyisin korjaustoiminta on vilkasta ja ammattitaitoisia ja kokeneita kuntotutkijoita on saatavilla. Myös korjaustavat ja korjausmateriaalit ovat kehittyneet valtavasti viimeisen 20 vuoden aikana.

Korjauspäätökset

Muutamana tuhannen euron kuntotutkimuksen perusteella tehdään satojen tuhansien eurojen korjauspäätökset. Tehtyjen haastattelujen mukaan kuntotutkijan esittämästä korjaussuosituksesta ja -ajankohdasta poiketaan vain harvoin. Tällöin syynä on yleensä useampien korjausten niputtaminen tms.

Haastateltujen kuntotutkijoiden mukaan tilaajien maksuvalmius ei aina vastaa kuntotutkimuksen perusteellisuudelle yleisesti asetettuja vaatimuksia. Kuntotutkija valitaan tarjouskilpailun perusteella ja usein merkittävimpana valintakriteerinä ovat kustannukset. Tässä tutkimuksessa oli mukana isoja kiinteistönomistajia, joilla on tietämystä kuntotutkimusten kokonaistaloudellisesta vaikutuksesta ja kuntotutkimuksiin on usein varattu riittävästi resursseja.

Mikäli kuntotutkimus tilataan halvimman tarjouksen ja siten usein sisällöltään suppeimman tutkimuksen perusteella eikä sen lisäksi tehdä lisätutkimuksia suunnitteluvaiheessa, on suuren taloudellisenä riskinä se, että epävarmuudesta johtuen joudutaan turvautumaan tekni-

seen tarpeeseen nähden turhan raskaaseen korjaukseen. Tutkimattomuuden perusteella saatetaan valita myös vaurioilanteeseen nähden liian kevyt korjausmenetelmä, jolloin rakenteiden vaurioituminen etenee korjauksesta huolimatta ja korjaustarve tulee eteen uudelleen nopealla aikataululla.

Kuntotutkimusta tilatessa tulisi aina kiinnittää huomiota tutkimuksen sisältöön. Kuntotutkimuksen tilaajalle on esitetty ohje mm. oppaan Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, liitteissä 2 ja 3.

Korjaussuunnittelu

Korjaussuunnittelija saa käsityksen rakenteiden nykykunnosta lähinnä kuntotutkimusraportista. Tästä näkökulmasta on tärkeää, että raportissa on selostettu suositeltujen korjaustapojen suunnittelun kannalta keskeiset asiat riittävällä tarkkuudella. Puutteelliset tiedot on täydennettävä tarvittaessa lisätutkimuksin.

Korjaussuunnittelu olisi suositeltavaa aloittaa hankesuunnittelulla, jossa tilaaja, kuntotutkija ja korjaussuunnittelija käyvät läpi vaurioilanteen, mahdolliset korjaustavat sekä korjaukselle asetettavat tavoitteet. Monissa tapauksissa kuntotutkija ja korjaussuunnittelija on sama henkilö, jolloin tiedonkulku kuntotutkimuksesta suunnitteluun on esteetöntä.

4.6 Hyvät käytännöt

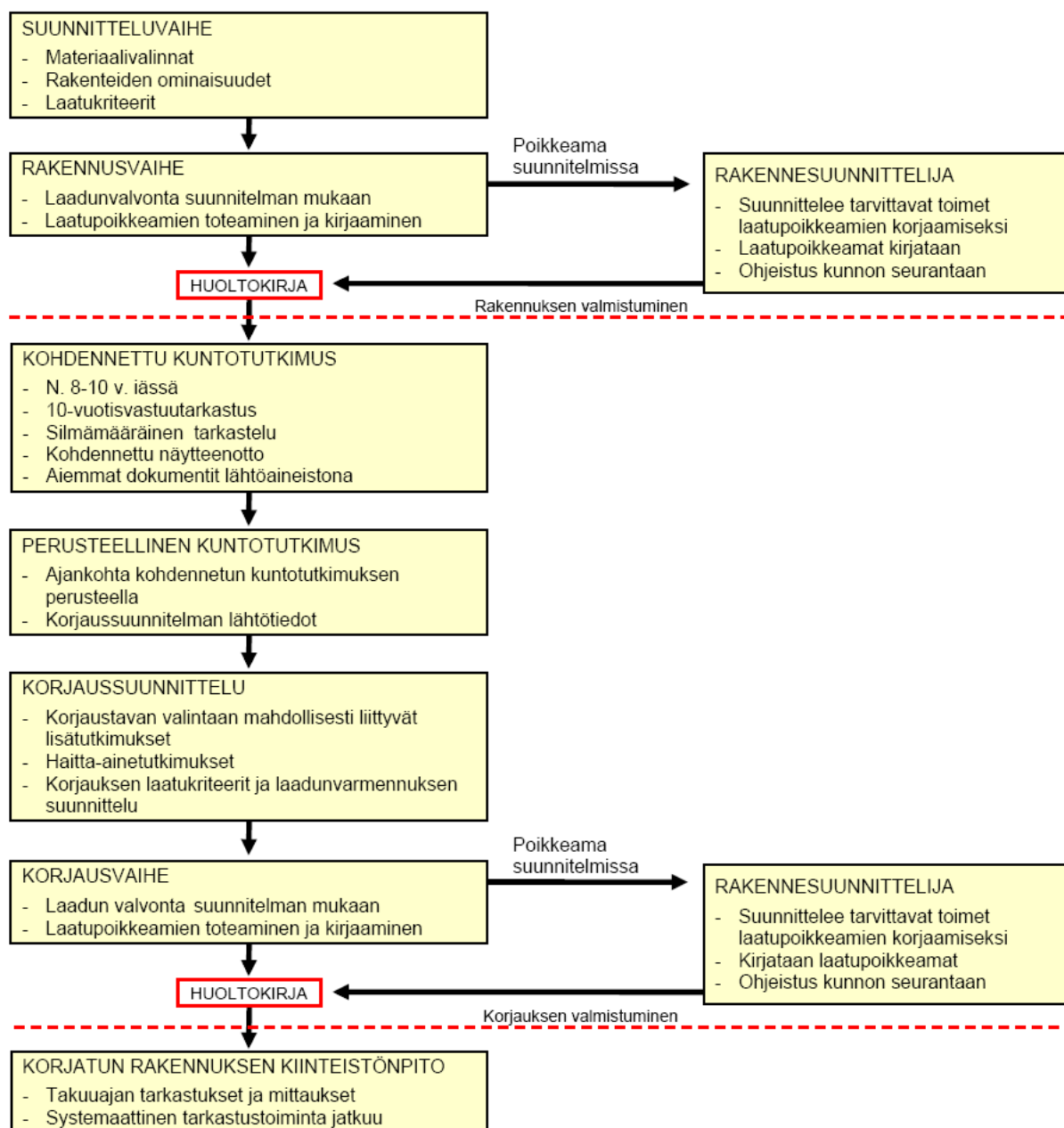
Seuraavana on lueteltu tutkimuksen aikana esille tulleita hyväksi koettuja käytäntöjä korjaushankkeen eri tekijöistä ja vaiheista:

1. Julkisivu- ja parvekerakenteiden kuntoa seurataan säännöllisesti.
2. Kuntotutkimus teetetään 15 vuoden iässä tai viimeistään näkyvien vaurioiden ilmetessä.
3. Kuntotutkimustarjous pyydetään luotettaviksi todetuilta ammattitaitoisilta kuntotutkijoilta.
4. Kuntotutkimusta tilatessa kiinnitetään huomiota tarjousten sisältöön. Ensisijaisena valintakriteerinä käytetään kuntotutkimuksen sisällön laajuutta kohteen vaativuuteen nähden, sitten kuntotutkijoiden pätevyyttä ja kokemusta. Vasta kolmantena kriteerinä tulevat kuntotutkimuksen kustannukset.
5. Kuntotutkimuksen tulokset käsitellään tarvittaessa yhdessä tilaajan kanssa.
6. Korjaussuunnittelijaksi valitaan luotettavaksi todettu ammattitaitoinen suunnittelija.
7. Korjaussuunnittelu käynnistetään hankesuunnittelulla, jossa tilaaja ja korjaussuunnittelija keskustelevat yhdessä korjausvaihtoehdoista ja korjaukselle asetettavista tavoitteista.
8. Korjaustavaksi valitaan teknisesti soveltuvista vaihtoehdoista se, joka parhaiten täyttää taloudelliset ja arkkitehtoniset tavoitteet.
9. Korjaustöiden sujuvuuden kannalta tekijöiden hyvän ammattitaidon lisäksi korostuu vastaavan työnjohtajan sekä valvojan henkilökemiat.

5 KUNTOTUTKIMUKSET RAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKANA

5.1 Systemaattinen tiedon kerääminen rakennuksen elinkaaren aikana

Rakennuksen ja sen yksittäisen rakennusosan vaurioitumiseen liittyvää tietoa tuotetaan ja sitä on saatavissa jo suunnitteluvaiheesta lähtien. Rakenteiden vaurioitumista ja vaurioitumisen etenemistä voidaan ja sitä tulee seurata systemaattisesti koko rakennuksen elinkaaren ajan. Rakennuksen systemaattista kunnonseuranta voidaan tehdä kuvan 5.1 kaavion mukaisesti.



Kuva 5.1 Rakennuksen systemaattinen koko elinkaaren kunnonseuranta.

Rakennuksen elinkaaren jokainen vaihe tuottaa erilaista tietoa vaurioitumisesta, joka on lähtötietona kunnossapidon suunnittelulle sekä seuraavan vaiheen vaurioitumisen seuraamiselle.

le. Tästä syystä on erityisen tärkeää huolellisesti kirjata tehdyt havainnot, tutkimukset ja toimenpiteet rakennuksen huoltokirjaan sekä laatia päivitetyt käyttö- ja huolto-ohjeet jatkoseurantaa varten.

5.1.1 Suunnitteluvaihe

Rakennuksen käyttökään ja tuleviin korjaustarpeisiin vaikuttaviin tekijöihin voidaan vaikuttaa parhaiten rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Tällöin käyttöikätaavoitteen ja rakennuksen sijainnin mukaisesti tulee määritellä rakennuksen rasiustaso ja -luokat. Materiaali- ja rakennetyyppivalinnoilla on keskeinen merkitys käyttöikätaavoitteen saavuttamiseen sekä rakennuksen tuleviin huolto- ja korjaustarpeisiin. Rakennusosien liitosten ja detaljien toimivuus vaikuttavat huomattavan paljon rakenteiden paikalliseen rasiustasoon. Pitkäikäisen betonijulkisivun ja -parvekkeen suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota mm. seuraaviin asioihin:

- betonin pakkasenkestävyyden on oltava ehdottomasti kunnossa
- julkisivuissa ja parvekkeissa tulee käyttää ruostumattomia raudotteita
- rakenteiden liitokset ja detaljit on suunniteltava sellaisiksi, että niiden kautta ei pääse sadevettä rakenteen sisään, vaikka saumat olisivat rikkoutuneet
- rakenteiden ja rakennusosien huoltotarve ja -välit määritellään realistisesti
- rakenteiden käyttöiän kannalta kriittisten rakennusosien laadunvarmistuksesta ja valvonnasta laaditaan yksityiskohtainen suunnitelma
- laaditaan selkeät toimintaohjeet laatu- ja suunnitelmapoikkeamien tapauksissa.

Huoltotarve

Kaikessa kiinteistönpidossa rakenteiden ja rakennusosien huolto on normaalia toimintaa. Hyvällä liitosten, yksityiskohtien ja suojausten suunnittelulla on mahdollista vaikuttaa kiinteistön huoltotarpeeseen vähentävästi sekä määrällisesti että ajallisesti. Suunnittelijan tulee laatia kohteelle yksityiskohtaiset tarkastus- ja huolto-ohjeet käyttöiän kannalta kriittisistä rakenteista ja liitoksista, jotka tulee löytyä rakennuksen huoltokirjasta.

Laadunvarmistussuunnitelma

Valmiin rakenteen käyttöiän saavuttamiseksi rakennesuunnittelijan tulee laatia laadunvarmistussuunnitelma, jossa määritetään käyttöiän kannalta keskeisten ominaisuuksien laatu ja sen toteaminen. Lähtökohtaisesti laadunvarmistustoimien tulisi olla sellaisia, että niillä on mahdollista estää virheelliset työsuoritukset ja lopputuotteet eikä vain todeta, millaista tuli.

Laadunvarmistussuunnitelmaan tulee kirjata selkeästi mitattavissa olevia suureita ja määriä, kuten esimerkiksi:

- raudotteiden peitepaksuudet (25 mm) varmistetaan käyttämällä rengaskorokkeita 5 kpl/m². Työjohto toteaa raudotteiden sijainnin ennen valua mittaamalla. Peitepaksuuden alituksia ei sallita.
- betonin huokosjako mitataan jokaisesta erilaisesta elementtityypistä 6 kpl rinnakkaisia näytteitä / elementtityyppi.

Laatu- ja suunnitelmapoikkeamat

Rakennusprojekteissa voi tulla eteen tilanteita, jolloin toteutunut laatu ei vastaa vaadittua tasoa. Monille pelkästään ulkonäköön vaikuttaville asioille on usein mahdollista tehdä korjauksia toimia, mutta esimerkiksi betonin puutteellisen pakkasenkestävyyden tai tavanomaisten raudotteiden jäädessä liian lähelle ulkopintoja, korjaustoimet ovat yleensä vaikeasti toteutettavissa.

Kaikista rakenteen käyttökään vaikuttavista laatu- ja suunnitelmapoikkeamisista on laadittava suunnitelma, miten asia joko korjataan tai millä tavoin sen vaikutuksia seurataan rakennuksen käytön aikana. Poikkeamien dokumentointi on rakennuksen omistajalle sekä kun-

nossapitohenkilöstölle äärimmäisen tärkeää. Näitä on mahdollista käyttää rakennuksen huolto- ja kunnossapitoa ohjelmoitaessa sekä myöhemmin rakenteiden kuntotutkimusten ja korjaustarpeen määrittelyssä.

5.1.2 Rakennusvaihe

Kohteen rakennusvaiheessa toteutetaan suunnitelman mukaista laadunvalvontaa sekä työmaalla että elementtitehtaissa. Ulkobetonirakenteista todetaan ja liitetään rakennuksen luovutusaineistoon huoltokirjaan kirjattavaksi mm.:

- betonin lisähuokostuksen toteaminen, huokosjako jokaisessa näytteessä ja otetut näytemäärät
- suunnitelmien mukaiset vetolujuuskokeet
- raudoitteiden sijaintimittaukset, sekä verkko- että pieliteräkset
- tartuntapintojen puhtaus ja työolosuhteet liitos- ja saumaustöissä
- muu suunnitelmien ja vaatimusten toteutuminen.

Kaikki laatupoikkeamat kirjataan pöytäkirjoihin.

Rakennesuunnittelija suunnittelee tarvittavat toimenpiteet todettujen laadunallisten korjaamiseksi. Toimia voivat olla mm.:

- virheellinen rakennusosa tehdään kokonaan tai osittain uudelleen
- tehdään virheellisen rakenteen vaurioitumista hidastavia suojaustoimia, pinnoitus tai rakenteellinen suojaus
- ei tehdä välittömiä korjaustoimia, vaan laaditaan tarkempi seurantaohjelma ko. rakenteelle tai rakennusosalle rakennuksen käyttöajalle.

Laatupoikkeamat kirjataan rakennuksen huoltokirjaan ja rakennesuunnittelija laatii ohjeistuksen kunnan seurantaan sekä tulevia toimenpiteitä varten.

5.1.3 Kohdennettu kuntotutkimus

Kohdennettu kuntotutkimus tulisi tehdä ensimmäisen kerran noin 8 – 10 vuoden ikäiseen rakennukseen, joka on sopiva hetki mm. rakennuksen urakoitsijan kymmenvuotisvastuuta ajatellen.

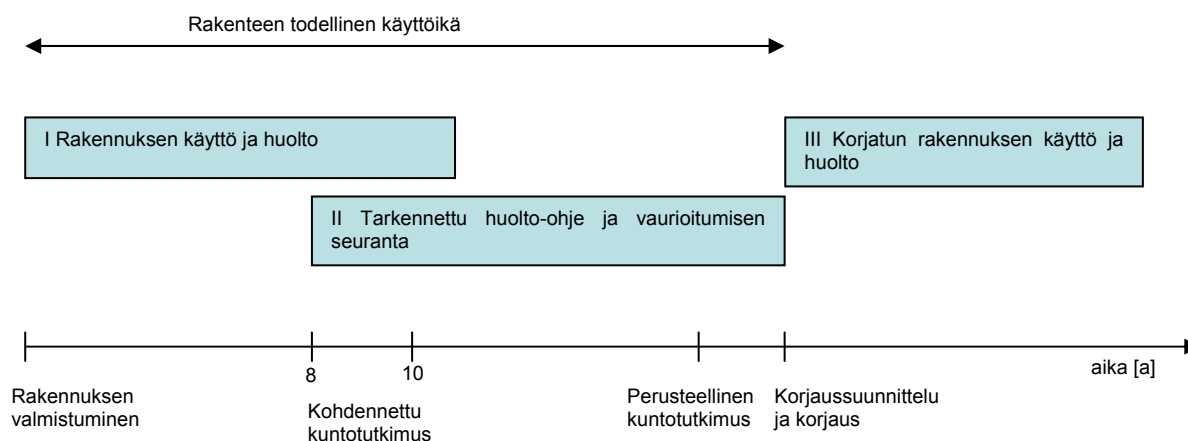
Kohdennetun kuntotutkimuksen sisältö vaihtelee käytettyjen rakenteiden ja julkisivun pintatyyppien mukaan, mutta sen tulisi sisältää mm. seuraavien asioiden tarkastelun ja toimenpiteet:

- suunnitelma-asiakirjojen läpikäynti käytettyjen materiaalien ja rakenteiden käyttöikäen oleellisesti liittyvien asioiden suhteen
- rakentamisen aikana havaittujen laatupoikkeamien ja tehtyjen korjaavien toimien selvittäminen huoltokirjasta tai muista asiakirjoista
- kokeneen kuntotutkijan kohteen silmämääräinen tarkastelu, jossa keskeisiä tarkasteltavia asioita ovat:
 - o näkyvät vauriot, tyyppi ja laajuus
 - o rakenteiden kosteustekniseen toimintaan liittyvien pellitysten, saumausten ja liitosten kunto ja toimivuus
 - o vedenpoistojärjestelmien riittävyys ja toimivuus katoilta ja parvekkeilta
 - o parvekerakenteiden laasti- ja valusaumojen kunto
 - o parvekelaatan ylä- ja alapintojen pinnoitteiden kunto
 - o julkisivupinnoitteiden kunto
- muutaman kohdennetun näytteen ottaminen ja laboratoriokokeiden suorittaminen.

Kohdennettu näytteenotto tulee suorittaa ankarimmin rasitetuista parvekkeiden pielistä sekä julkisivujen yläosista. Näytteenotto paikkoihin ja otoslajuuteen vaikuttavat luonnollisesti myös rakennustyön aikana havaittujen laatupoikkeamien olemassa olo ja sijainti. Kokonaisuudessaan kohdennetun kuntotutkimuksen näytemäärä on 3 – 5 kpl. Näytteistä tulee selvit-

tää betonin pakkasenkestävyysominaisuudet ja mahdollinen pakkasrapautumisen tilanne sekä betonin karbonatisoitumissyvyys. Nämä kaikki selviävät ohuthietutkimuksella. Tutkimustiedot kirjataan kohteen huoltokirjaan, josta ne ovat käytettävissä perusteellista kuntotutkimusta tehtäessä.

Kohdennetun kuntotutkimuksen perusteella tehdään päätös tulevan perusteellisen kuntotutkimuksen ajoituksesta sekä sen mahdollisesta laajuudesta.



Kuva 5.2 Kohdennetun ja perusteellisen kuntotutkimuksen sijoittuminen rakenteen käyttöikään nähden.

5.1.4 Perusteellinen kuntotutkimus korjaustarpeen määrittämiseksi

Edellisten vaiheiden perusteella kohteeseen räätälöidään perusteellinen kuntotutkimusohjelma, jossa:

- määritetään rakenteiden korjaustarve ja ajankohta
- selvitetään soveltuvat korjaustavat, arvioidaan kustannukset sekä rakenteiden jäljellä oleva käyttöikä
- tuotetaan korjaussuunnittelun tarvitsemat lähtötiedot.

Perusteellisen kuntotutkimuksen ajankohta määräytyy pitkälti edellisten vaiheiden perusteella, sillä niistä saatavat materiaalien vaurioitumista koskevat tiedot sekä tehdyt havainnot ohjaavat rakennuksen ylläpito- ja korjaustoimia ennakoivasti.

5.1.5 Korjaussuunnittelu

Korjaussuunnittelun aikana kuntotutkimusta saatetaan joutua täydentämään lisätutkimuksin, joilla yleensä varmennetaan valitun korjaustavan soveltuvuutta tai selvitetään terveydelle haitallisten aineiden olemassaoloa. Tyypillisiä korjaussuunnitteluun liittyviä lisätutkimuksia ovat:

- lyijy-, PCB-, asbesti- ja homeselvitykset
- rakenteiden lisäkiinnitystarve
- uuden rakenteen kiinnitysvarmuus rapautuneeseen betoniin.

Korjaussuunnittelija laatii varsinaisen korjaussuunnitelman lisäksi yksityiskohtaisen laadunvarmistus- ja valvontasuunnitelman korjauksen käyttöiän kannalta kriittisten rakennusosien ja rakenteiden valmistusta varten.

Kaikista korjauksen käyttöikään vaikuttavista laatu- ja suunnitelmapoikkeamisista on laadittava suunnitelma, miten asia joko korjataan tai millä tavoin sen vaikutuksia seurataan rakennuksen käytön aikana. Poikkeamien dokumentointi on rakennuksen omistajalle sekä kun-

nossapitohenkilöstölle äärimmäisen tärkeää. Näitä on mahdollista käyttää rakennuksen huoltoa ja kunnossapitoa ohjelmoitaessa sekä edelleen myöhemmin korjattujen rakenteiden kuntotutkimusten ja korjaustarpeen määrittelyssä.

5.1.6 Korjausvaihe

Korjauksen toteutusvaiheessa toteutetaan suunnitelman mukaista laadunvalvontaa työmaalla sekä tapauskohtaisesti myös elementtitehtaissa (rakenteiden uusiminen). Ulkobetonirakenteista todetaan ja liitetään rakennuksen luovutusaineistoon huoltokirjaan kirjattavaksi mm.:

- betonin lisähuokostuksen toteaminen, huokosjako jokaisessa näytteessä ja otetut näytemäärät (valu- ja paikkauskorjaukset)
- suunnitelmien mukaiset vetolujuuskokeet
- tartuntapintojen puhtaus ja työolosuhteet liitos- ja saumaustöissä
- muu suunnitelmien ja vaatimusten toteutuminen.

Kaikki laatupoikkeamat kirjataan pöytäkirjoihin.

Rakennesuunnittelija suunnittelee tarvittavat toimenpiteet todettujen laadunalitusten korjaamiseksi. Toimia voivat olla mm.:

- virheellinen rakennusosa tehdään kokonaan tai osittain uudelleen
- tehdään virheellisen rakenteen vaurioitumista hidastavia suojaustoimia, pinnoitus tai rakenteellinen suojaus
- ei tehdä välittömiä korjaustoimia, vaan laaditaan tarkempi seurantaohjelma ko. rakenteelle tai rakennusosalle rakennuksen käyttäjälle.

Laatupoikkeamat kirjataan rakennuksen huoltokirjaan ja rakennesuunnittelija laatii ohjeistuksen kunnan seurantaan ja tulevia toimenpiteitä varten.

5.1.7 Kiinteistönpito korjauksen jälkeen

Korjatun rakennuksen kunnossapidossa systemaattinen tarkastus ja laadunvalvonta jatkuvat korjaussuunnittelun ja korjaustöiden aikaisen laadunvalvonnan perusteella huoltokirjaan laaditun ohjelman mukaan.

Korjauksen jälkeen suoritetaan myös takuuajan tarkastuksia ja mittauksia, jotka on ennalta määritetty korjaussuunnitelmassa. Takuuajan tarkastuksiin voi tapauskohtaisesti kuulua silmämääräisen tarkastelun lisäksi erilaisia vetolujuuskokeita ja mittauksia.

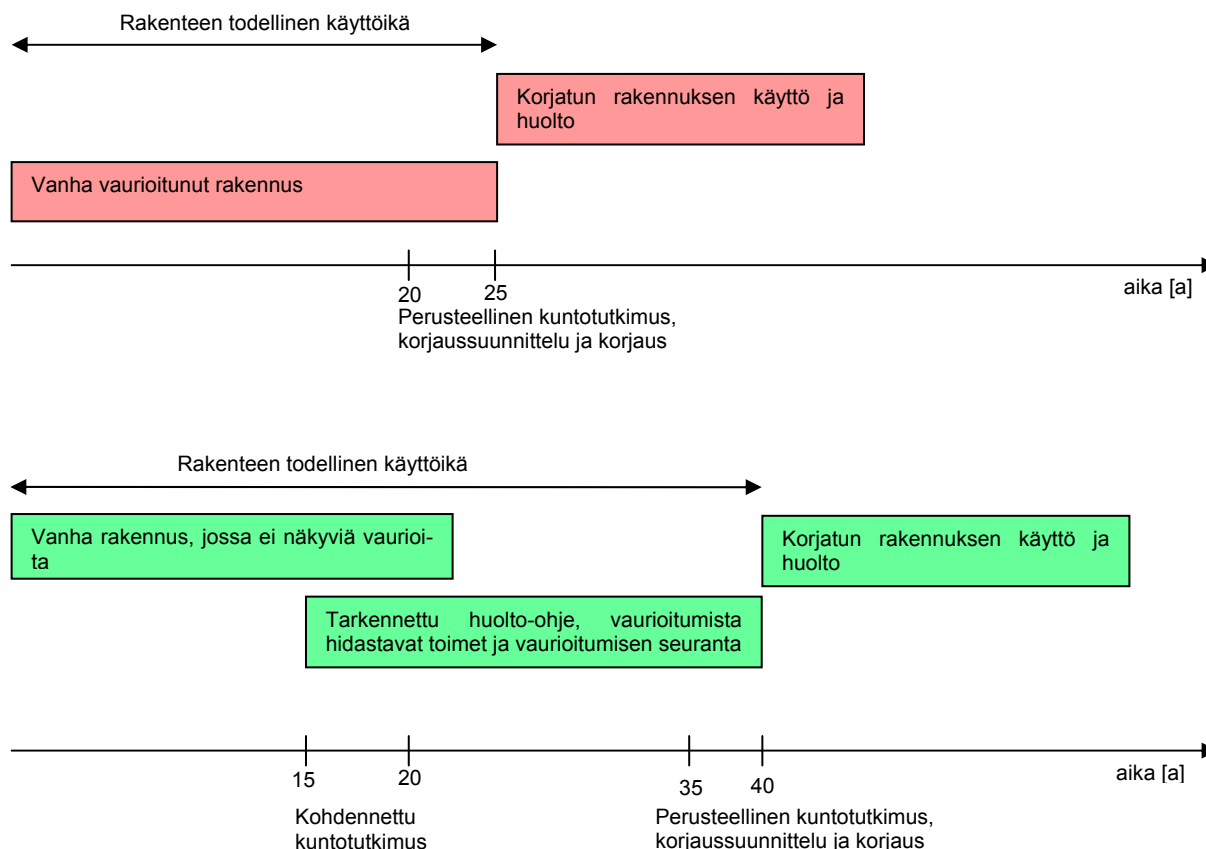
5.2 Kuntotutkimukset olemassa olevassa rakennuskannassa

BeKo-tietokannasta tehtyjen havaintojen sekä kiinteistönomistajien haastattelujen mukaan nykyisten julkisivu- ja parvekerakenteiden korjaushankkeen käynnistää yleensä vasta rakenteen näkyvä vaurioituminen. Näkyvien vaurioiden ilmetessä betonin vaurioituminen on kuitenkin yleensä edennyt jo niin pitkälle, että kevyet suojaustoimenpiteet eivät ole enää riittäviä, vaan yleensä joudutaan turvautumaan perusteellisempaan korjaukseen. Mikäli kuntotutkimus teetettäisiin jo ennen näkyvien vaurioiden syntymistä, olisi mahdollista hidastaa rakenteen vaurioitumista erilaisilla suojaustoimenpiteillä ja siten pidentää rakenteen käyttöikää.

Jotta kiinteistön kuntoa pystyttäisiin pitämään yllä ja soveltuviin korjaustoimiin osattaisiin ryhtyä ajoissa, olisi rakenteiden kuntoa seurattava säännöllisesti. Kuntotutkimus tulisi teettää jo ennen näkyvien vaurioiden syntymistä. Tällöin olisi mahdollista hidastaa rakenteen vaurioitumista erilaisilla kevyillä suojaustoimenpiteillä ja siten pidentää rakenteen käyttöikää. En-

simmäisen kuntotutkimuksen jälkeen rakenteen kuntoa suositellaan seurattavaksi noin 5 vuoden välein tehtävillä tapauskohtaisesti kohdennetuilla kuntotutkimuksilla.

Olemassa olevan rakennuksen kohdennetussa kuntotutkimuksessa sovelletaan kohdan 5.1.3 periaatteita. Betonirakenteiden korjausohjeissa BY 41 2007, suositellaan kuntotutkimuksen teettämistä noin 15 vuoden iässä, mutta kuitenkin viimeistään silloin, kun rakenteessa alkaa esiintyä näkyviä vaurioita. Näkyvien vaurioiden havaitseminen edellyttää rakenteiden kunnan säännöllistä seuranta esim. kuntoarvioilla.



Kuva 5.3 Vanhan rakenteen käyttöikä voidaan lisätä merkittävästi, kun kohdennettu kuntotutkimus ja sen perusteella tehtävät vaurioita hidastavat toimet tehdään rakennukseen, jossa vaurioitumista ei vielä ole silmämääräisesti havaittavissa.

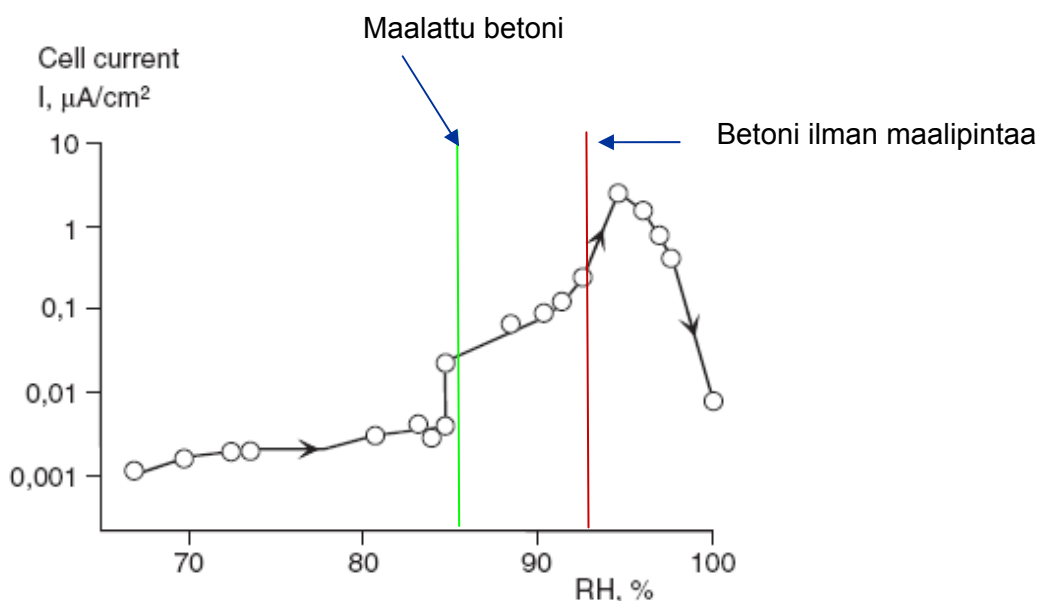
5.3 Kuntotutkimuksen käyttöikä

Kuntotutkimuksessa saatava tieto vanhenee osittain ajan kuluessa. Osa tiedoista, kuten raudoitteiden peitepaksuudet, lämmöneristeiden paksuus sekä betonin suojahuokossuhde ja huokosjako pysyvät rakenteen valmistumisen jälkeen vakioina. Sen sijaan kaikkien näkyvien vaurioiden määrä sekä betonin karbonatisoitumissyvyys ja betonin huokosrakenteen täytteisyys sekä pakkasrapautumistilanne muuttuvat ajan ja rasitustason mukaisesti.

Kohteeseen tehdyn kuntotutkimuksen käyttökelpoisuus aika riippuu oleellisesti rakennuksessa todetuista vauriomekanismeista ja kunnosta kuntotutkimushetkellä. Jo silmämääräisesti pitkälle vaurioituneen rakennuksen korjaustarve tulee vastaan tyypillisesti 0 – 3 vuoden kuluessa kuntotutkimuksesta kun taas hyväkuntoisessa rakennuksessa korjaustarve voi olla 10 – 15 vuoden päässä.

Raudoitteiden korroosion sekä betonin pakkasrapautumisen eteneminen riippuu voimakkaasti rakenteen kosteusrasitustasosta. Tämä voidaan havaita selvästi kuvasta 5.2. Maalipinnalla suojatun betonirakenteen terästen korroosionopeus karbonatisoituneessa betonissa

voi olla vain 1/10 paljaaseen betonipintaan verrattuna (Mattila & Pentti 2004). Tämä tietysti edellyttää, että maalipinta pidetään kunnossa. Samalla betonin kosteuspitoisuus laskee tasolle, jossa huokosverkoston vedellätytymisaste on niin alhainen, että pakkasrapautumista ei pääse tapahtumaan (Fagerlund 1977).



Kuva 5.4 Kosteuspitoisuuden vaikutus karbonatisoituneessa betonissa olevien raudotteiden korroosionopeuteen (Tuutti 1982).

Sekä raudotteiden korrosio että betonin pakkasrapautuminen etenevät tyypillisesti huomattavan hitaasti tavanomaisissa sisämaan ilmasto-olosuhteissa. Tällaisissa rakennuksissa kuntotutkimusten vaurioitumista kuvaava tieto vanhenee noin 8 – 12 vuodessa edellyttäen, että rakenteiden kantavuudessa ja kiinnitysvarmuudessa ei ole ollut puutteita.

Aivan rannikko-olosuhteissa sekä paikalliselle korkealle kosteusrasitukselle alttiissa rakenteissa vaurioitumisnopeus on huomattavasti suurempi kuin tasaisemmissa sisämaaolosuhteissa. Tällöin kuntotutkimustieto vanhenee jo keskimäärin viidessä vuodessa.

Rakenteiden kantavuus- ja kiinnitysvarmuuspuutteet

Mikäli kuntotutkimuksessa on todettu puutteita rakenteiden kantavuuteen tai elementtien kiinnitysvarmuuteen liittyen, esimerkiksi julkisivuelementtien ulkokuoren taustapinnan rapautuminen, joka vaikuttaa mm. ansaiden kiinnitykseen, tulee korjausten aikataulutukseen ja rakenteiden kunnonseurantaan kiinnittää erityistä huomiota. Seuranta on suoritettava tiheämmin, luokkaa 2 – 3 vuoden välein näihin asioihin kohdennetuilla kuntotutkimuksilla.

6 BETONIJULKISIVUJEN JA – PARVEKKEIDEN KORJAUSTARPEEN ENNAKOINTISOVELLUS

6.1 Esittely

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden rapautumisen arviointia varten on kehitetty korjaustarpeen ennakointimalli. Sovelluksen avulla voidaan laskea eriasteisten julkisivukorjausten tekninen tarve ja määrä suuressa rakennusjoukossa sekä sen perusteella arvioida tulevia korjauskustannuksia. Laskenta pohjautuu *BeKo - Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjausstrategiat* -tutkimuksen aikana kerättyyn kuntotutkimusaineistoon. Malli käsittää kaksi Suomen oloissa keskeistä betonirakenteiden vaurioitumismekanismia: betonin pakkasrapautumisen ja raudotteiden korroosion.

Koska laskennassa käytetään laajaa tietokantaa, mallin avulla ei voida päätellä yksittäisen rakennuksen korjaustarvetta vaan oikean kunnossapitotoimen valintaan tarvitaan aina kohdekohtainen perusteellinen kuntotutkimus. Mallin pohjalta on mahdollista selvittää kuinka suuri osuus rakennuskannasta on välittömässä korjaustarpeessa ja vastaavasti kuinka suuri osuus sellaisia rakennuksia, joiden korjausta voidaan vielä lykätä. Näin voidaan kohdentaa rakennusten kunnossapitoon kohdennetut varat oikein.

6.2 Aineisto

6.2.1 Aineiston ominaisuudet

Ennakointimallin perustana toimii BeKo-tutkimuksen yhteydessä kerätty kuntotutkimusaineisto. Aineisto käsittää systemaattisen kuntotutkimuksen yhteydessä tavanomaisesti kerättävät tiedot betonijulkisivuista ja -parvekkeista. Tietokannassa olevista rakennuksista suurin osa on rakennettu 1970 – 1980 -luvulla. 1960-luvun alun ja 1990-luvun rakennuksien osuus on vähäinen.

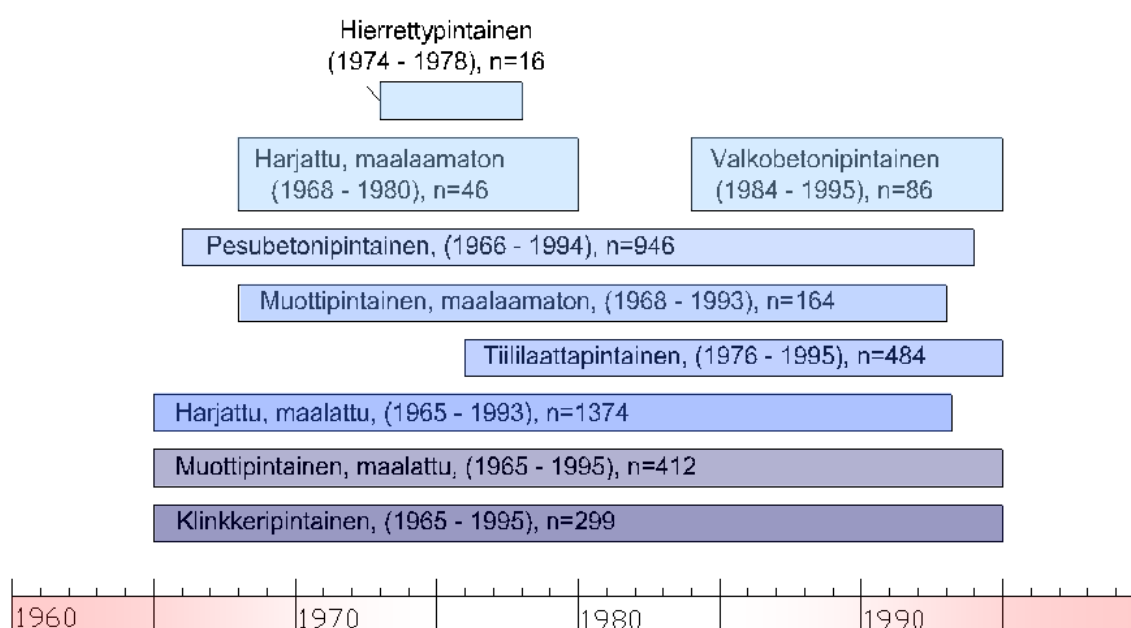
Aineisto koostuu yhteensä lähes 7000 yksittäisestä mittaustiedosta, joista n. 3900 on julkisivuista yli 700 kohteesta ja n. 2800 on parvekerakenteista yli 330 kohteesta. Aineisto käsittää kohteiden tunnistetiedot, silmämääräiset havainnot, korjaustapasuositukset, raudotteiden peitepaksuudet, betonin karbonatisoitumissyvyyydet ja pakkasenkestävyysominaisuudet sekä ohuthietutkimustulokset.

Ennakointimallin käyttämä aineisto on jäsennetty julkisivun pintatyyppin perusteella. Jako on esitetty taulukossa 6.1. Jokaiselle julkisivutyypille muodostuu toimiva käyttöalue julkisivutyypin rakennusten ikäjakauman kautta. Kuvan 6.1 mukaan yleisimpien julkisivutyypin käyttöalueet muodostuvat hyvin samankokoisiksi. Harvinaisemmilla pintatyypeillä, kuten hierretty-, harjattu maalaamaton- ja valkobetoni-pintaisilla käyttöalue jää kapeimmaksi.

Suurimmat näytemäärät ovat harjattupintaisella maalatulla sekä pesubetonipintaisella julkisivulla. Molemmat pintatypit ovat yleisiä 70-luvun rakennuskannassa. Myös muottipintaiset maalatut, tiililaattapintaiset ja klinkkeripintaiset julkisivut ovat aineistossa hyvin edustettuina. Vähäisimmät määrät tietokannassa ovat hierretty-pintaisia, harjattuja maalaamattomia ja valkobetoni-pintaisia julkisivuja. Parvekerakenteiden osalta aineisto on yhtenäinen ja käyttöalue sovelluksessa on kaikista laajin.

Taulukko 6.1 Julkisivutyypit

Julkisivutyyppi	Valm. vuodet	näytemäärä	käyttöalue
-Harjattu, maalaamaton	1971-1985	46	1968-1980
-Harjattu, maalattu	1962-1993	1374	1965-1993
-Muottipintainen, maalaamaton	1968 – 1993	164	1968 – 1993
-Muottipintainen, maalattu	1960 – 1993	412	1965 – 1995
-Pesubetonipintainen	1967 – 1996	946	1966 – 1994
-Hierrettyntypintainen	1975 – 1977	16	1973 – 1978
-Klinkkeripintainen	1963 – 1993	299	1965 – 1995
-Tiililaattapintainen	1968 – 1993	484	1976 – 1995
-Valkobetonipintainen	1964 – 1994	86	1984 – 1995
-Parvekkeet	1965 – 1995		1965 – 1995



Kuva 6.1 Eri julkisivutyypin käyttöalueet

6.2.2 Aineiston jäsentäminen

Tietoja käsitellään rajaamalla hakutuloksia reunaehtojen perusteella, joita ovat julkisivutyyppi, valmistumisvuosi ja rakennuksen sijainti. Julkisivutyypit on eroteltu toisistaan niiden erilaisten pitkäaikaiskestävyysominaisuuksien vuoksi. Erilaiset ominaisuudet johtuvat mm. pintatarvikkeiden ominaisuuksista ja elementin valmistustavasta.

Kuntotutkimustuloksia poimitaan mukaan tarkasteluun valitun tarkasteluvuoden ympäristöstä ennalta määritellyn suuruiselta alueelta. Oletuksena alueen suuruus on 3 vuotta eteen ja taaksepäin valitusta tarkasteluvuodesta. Rakennuksen sijainti jaetaan ennakoitavissa kahteen kategoriaan: rakennus sijaitsee joko sisämaassa tai rannikolla. Rannikolla rakennuksiin kohdistuva säärasitus on ankarampi ja tämä otetaan huomioon tarkasteltaessa julkisivun vaurioitumista.

6.2.3 Vaurioitumisen arviointi

Rapautumisen arviointiin käytetään tietokannan tietoja sekä yleisesti hyväksytyjä teorioita ja asiantuntijalausuntoja rapautumisen etenemisestä. Mallin avulla voidaan selvittää tietyn ikäisten rakennusten keskimääräinen kunto ja verrata tätä tietoa omaan rakennuskantaan. Lähtötiedoiksi sovellukselle annetaan rakennuksen valmistumisvuosi, sijainti ja julkisivun pintatyyppi. Näiden lähtötietojen perusteella malli hakee tietokannasta vastaavien rakennusten kuntotutkimustiedot.

Sovellus muodostaa jakaumia betonin pakkasrapautumisen ja raudotteiden korroosion tilanteesta, jotka muutetaan korjaustoimenpiteiksi tässä kappaleessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Tietokannassa oleva tieto on sidottu kuntotutkimushetkeen. Vaurioitumista jatketaan kuntotutkimushetkestä tarkasteluhetkeen sovellukseen ohjelmoitujen rapautumisen etenemisen mallien avulla. Neliökustannuksien laskentaan käytetään tyyppitaloa, joka on tyyppilinen 1960 – 1970 luvun elementtikerrostalo, nk. lamellitalo. Lisäksi oletetaan, että yksi julkisivu-m² vastaa yhtä asunto-m². Oletus pätee kyseiselle tyyppitalolle.

6.2.4 Pakkasrapautuminen

Muuttujat

Pakkasrapautuminen aiheutuu betonin huokosverkostossa olevan veden toistuvan jäätyneen ja sulamisen aiheuttamasta paineesta, joka ylittäessään betonin vetolujuuden aiheuttaa halkeilua. Betonin pakkasrapautumisen todennäköisyyteen ja nopeuteen vaikuttavat oleellisesti oikeanlainen huokosrakenne, eritoten oikean kokoisten huokosten määrä ja jakautuminen betonissa ns. suojahuokostus sekä olosuhteet, joille rakenne altistuu. Betonin suojahuokosten määrää on mitattu suojahuokossuhteen avulla ja betonin suojahuokossuhde selvitetään aina kuntotutkimuksen yhteydessä otetuista näytteistä. Tästä syystä suojahuokossuhteen arvoja on tietokannassa runsaasti. Näytteiden suuresta määrästä johtuen on perusteltua käyttää suojahuokossuhdetta muuttujana pakkasrapautumisen tarkastelussa. Aiemmassa tutkimuksessa on vertailemalla ohuthietuloksia ja suojahuokossuhteita todettu arvojen kuvaavan betonin pakkasenkestävyysominaisuuksia hyvin.

Suojahuokossuhde on lukuarvo, joka kuvaa kapillaarisesti täyttymättömien ns. suojahuokosten osuutta betonin koko huokostilavuudesta. Betonia, jonka suojahuokossuhde ylittää arvon 0,20 pidetään yleisesti pakkasenkestävänä. Tämä raja-arvo otettiin käyttöön myös ennakoitavissa. Raja-arvon alittavassa betonissa pakkasrapautuminen on mahdollista. Mitä huonompi betonin suojahuokossuhde on sitä todennäköisempää ja nopeampaa rapautuminen on. Ennakointimalliin otettiin käyttöön seuraava neliportainen jako suojahuokossuhteen perusteella:

Suojahuokossuhteen arvot, neljä luokkaa:

- suojahuokossuhde, $p_r > 0,20$
- suojahuokossuhde, $p_r 0,15 - 0,19$
- suojahuokossuhde, $p_r 0,10 - 0,14$
- suojahuokossuhde, $p_r < 0,10$

Suojahuokossuhteeltaan riittämättömään betoniin syntyy ennen pitkää pakkasvaurioita. Pidemmälle edenneet pakkasvauriot ilmenevät silmin näkyvinä rapautumavaurioina. Silmämääräisiä havaintoja on kerätty kuntotutkimuksien yhteydessä ja ne kertovat julkisivun pakkasrapautumisen tilasta.

Vaurioiden olemassaoloa kuvaavat ennakoitavissa silmämääräiset pakkasrapautumavainnot. Silmämääräiset havainnot jaetaan kolmeen luokkaan: "Ei näkyvää", "Paikallista" ja "Laaja-alaista", jotka on tietokannassa koodattu samassa järjestyksessä arvoiksi 1, 2 ja 3. Näkyvien pakkasvaurioiden luokka määrää ennakoitavissa julkisivun korjaustarpeen.

Pisimmälle edennyt rapautuminen vastaa korjaussuositukseltaan julkisivun peittävää korjausta, paikalliset vauriot vastaavat paikkauskorjausta ja ”ei näkyvät” vastaavat suojaavaa pinnoitusta.

Silmin näkyvä pakkasrapautuminen, kolme luokkaa:

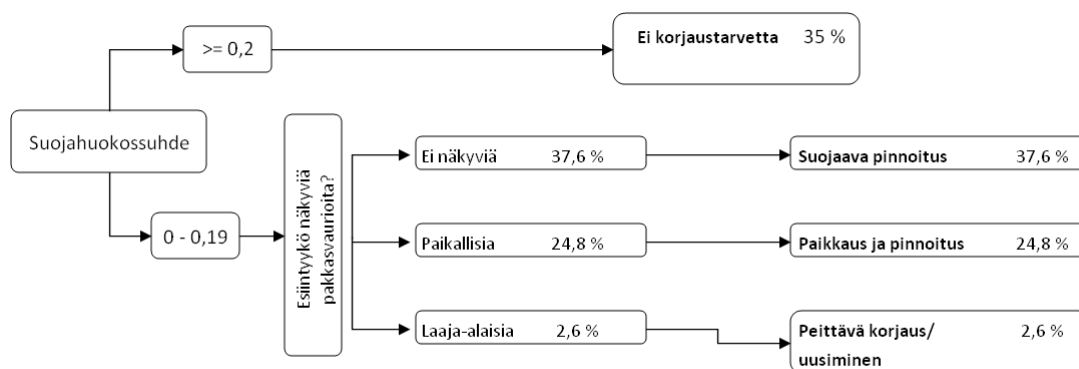
- Ei näkyvää
- Paikallista
- Laaja-alaista.

Sovellus hakee ja tulostaa vertailua varten tiedot myös ohuthienäytteestä havaitusta pakkasrapautumiseen viittaavasta halkeilusta. Ohuthieestä saadut tiedot ovat tarkempia ja luotettavampia kuin suojahuokossuhteen avulla tehdyt päätelmät, mutta niiden edustavuus on samalla pieni, koska ohuthieitä tehdään niiden korkeiden kustannusten vuoksi vain murto-osa tavanomaisten suojahuokoskokeiden määrästä.

Pakkasrapautumisen tilanne

Vaurioitumisen tilanne kuvataan sovelluksessa päätöspuun avulla, joka on esitetty kuvassa 6.2. Ajatteluketju lähtee karkeasta jaosta vaurioalttiisiin rakenteisiin ja vaurioitumattomiin. Jako tehdään betonin suojahuokossuhteen perusteella niin, että arvon 0,20 ylittävien katsotaan olevan pakkasenkestäviä eivätkä ne vaurioidu pakkasrapautumisen kautta. Raja-arvon 0,20 alittavat ovat vaurioalttiita ja johtavat korjaustoimenpiteisiin.

Edelleen vaurioalttiit rakenteet jaetaan näkyvän vaurioitumisen laajuuden mukaan kolmeen luokkaan, joista jokaiselle ehdotetaan systemaattisesti korjaustoimenpidettä. Ehdotukset perustuvat tyypillisiin vastaavalle vaurioasteelle tehtäviin korjauksiin. Sovelluksen antamia korjausehdotuksia ei pidä käyttää suoraan yksittäisten rakennusten korjaussuunnitteluun, vaan ne soveltuvat korjaustarpeen ja -kustannusten arviointiin suuressa rakennusjoukossa.



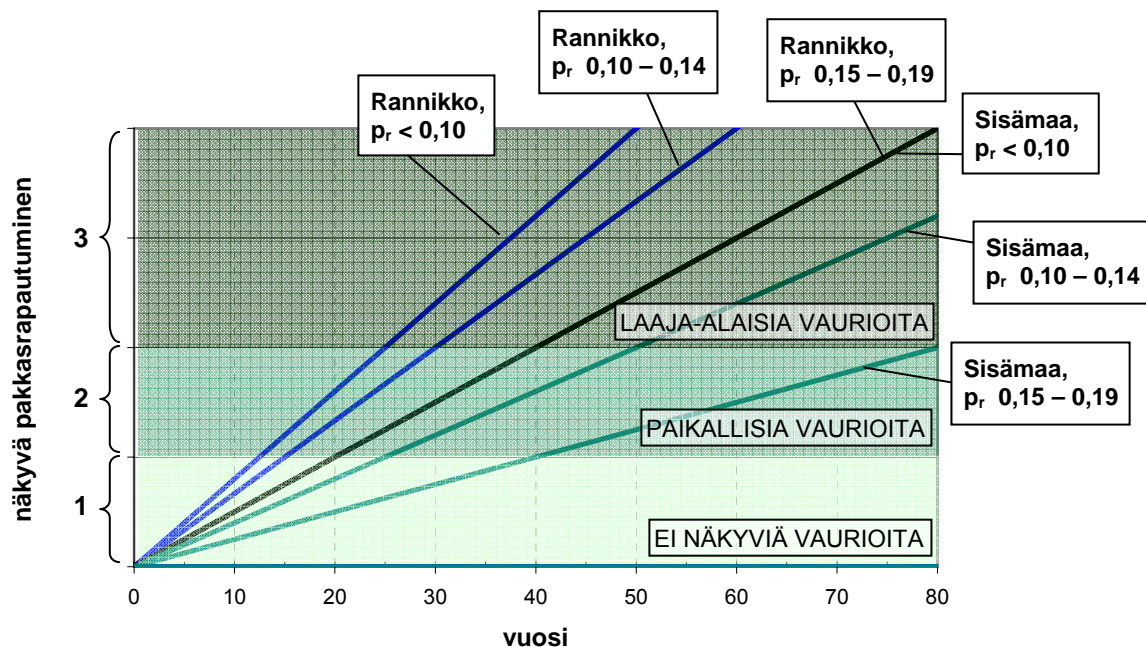
Kuva 6.2 Pakkasrapautumisen tilanne, harjattu maalattu julkisivu vuodelta 1970

Vaurioiden eteneminen

Näkyvien pakkasvaurioiden määrä kasvaa rapautuman edetessä. Tietokannassa olevien kuntotutkimuksien suoritusajankohdat vaihtelevat paljon ja vaurioituminen on edennyt nykyhetken ja kuntotutkimusajankohdan välisenä aikana. Jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia ja sovellettavissa nykyhetken, on vaurioitumista jatkettava jonkinlaisen pakkasrapautumisen etenemismallin mukaisesti.

Sovellusta varten kehitettiin oma betonirakenteiden pakkasrapautumista kuvaava vaurion etenemismalli, joka vastaa Suomen olosuhteita. Malli on lineaarinen aikaan sidottu funktio,

jonka voimakkuutta säätelevät betonin suojahuokossuhde sekä rakennuksen sijainti joko sisämaassa tai rannikolla. Näiden muuttujien perusteella lineaariselle mallille määrätään kulmakerto. Lineaarisen mallin voidaan katsoa kuvaavan pakkasrapautumista riittävällä tarkkuudella, koska rapautuman eteneminen on hyvin hidasta ja tarkastellaan vain muutamien kymmenen vuoden aikajännettä. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty pakkasrapautuman eteneminen.



Kuva 6.3 Pakkasvaurioiden etenemismallit.

Taulukko 6.2 Pakkasvaurioituminen

Pakkasvaurioitumisen raja-arvot vuosina eri suojahuokossuhteilla								
p_r	Rannikko				Sisämaa			
	0 – 0,09	0,10 – 0,14	0,15 – 0,19	0,20 –	0 – 0,09	0,10 – 0,14	0,15 – 0,19	0,20 –
Ei vaurioita	0	0	0	0	0	0	0	0
Paikallisia	12,5	15	20	-	20	25	40	-
Laaja-alaisia	25	30	40	-	40	50	80	-

Vaikka vaurioitumismalli on lineaarinen, vaurioituminen etenee seuraavalle asteelle vasta, kun se saavuttaa tarvittavan raja-arvon. Tästä johtuen pakkasrapautumisen eteneminen esiintyy mallissa hyppäyksiin. Pakkasvaurioitumisen eteneminen ei-vaurioituneesta laaja-alaisiin vaurioihin vuosina on esitetty numeroarvoina taulukossa 6.2.

6.2.5 Raudotteiden korroosio

Muuttujat

Raudotteiden korroosiosuojaus betonirakenteissa perustuu raudoitetta ympäröivän betonin alkalisuuteen, joka passivoi teräksen. Ajan myötä alkalisuus kuitenkin laskee betonin karbonatisoitumisen seurauksena. Karbonatisoituminen tapahtuu ilman hiilidioksidin tunkeutussa betoniin ja reagoidessa betonin ainesosien kanssa. Alkalisuuden laskiessa betonissa olevien raudotteiden korroosiosuoja häviää ja ruostuminen on mahdollista. Betoniraudottei-

ta suojataan korroosiolta asentamalla ne vähintään suojapeitepaksuuden verran betonin sisään. Teoriassa, kun karbonatisoituminen ylittää raudoitteen suojapeitepaksuuden, korrosio on mahdollista.

Betonin karbonatisoitumissyvyyksiä sekä raudoitteiden suojapeitepaksuuksia mitataan kuntotutkimuksen yhteydessä ja mitattuja syvyyksiä on tietokannassa paljon. Raudoitteiden suojapeitepaksuudet on tallennettu tietokantaan jakaumana pinnasta 50 mm syvyydelle betoniin, 5 mm jaolla. Samaa tiedonesitystapaa on luontevaa käyttää myös sovelluksessa. Karbonatisoituminen on tallennettu jokaiselle näytteelle sekä keskimääräisenä että maksimi karbonatisoitumissyvyytenä ja karbonatisoitumiskertoimena, joka on laskettu keskimääräisestä arvosta. Karbonatisoitumissyvytydet muutetaan sovellusta varten samaan jakaumamuotoon.

Kuten pakkasrapautumisen kohdalla, pitkälle edennyt korrosio ilmenee näkyvinä korrosio-aurioina. Kuntotutkimuksen yhteydessä tehdään silmämääräinen tarkastelu myös näkyvien korrosioaurioiden osalta ja siitä kirjataan ylös näkyvää pakkasrapautumista vastaava luokitus: "ei näkyviä", "paikallisia" ja "laaja-alaisia". Jakaumaa näkyvistä korrosioaurioista käytetään sovelluksessa vertailuarvona sekä raudoitteiden korjausmäärien arviointiin.

Korroosion tilanne

Raudoitteiden korroosion arviointi perustuu korroosioalttiin teräsmäärän laskentaan. Sovelluksessa teräksen katsotaan voivan ruostua, jos se on karbonatisoituneen betonin ympäröimänä. Kun tiedetään raudoitteen peitepaksuuksien ja karbonatisoitumisen jakaumat, niiden avulla lasketaan sovelluksessa korroosioalttiin teräksen määrä seuraavan vyöhykeperiaatteen mukaisesti:

Tarkasteltava rakenne on jaettu syvyyvyöhykkeisiin samalla 5 mm jaolla kuin peitepaksuusdata on ilmoitettu tietokannassa. Korroosioalttiin teräksen määrä lasketaan jokaisella vyöhykkeellä ja riippuen halutusta tarkastelusyvytydestä, lasketaan yhteen tälle syvyydelle kertyvillä vyöhykkeillä esiintyvät raudoitemäärät.

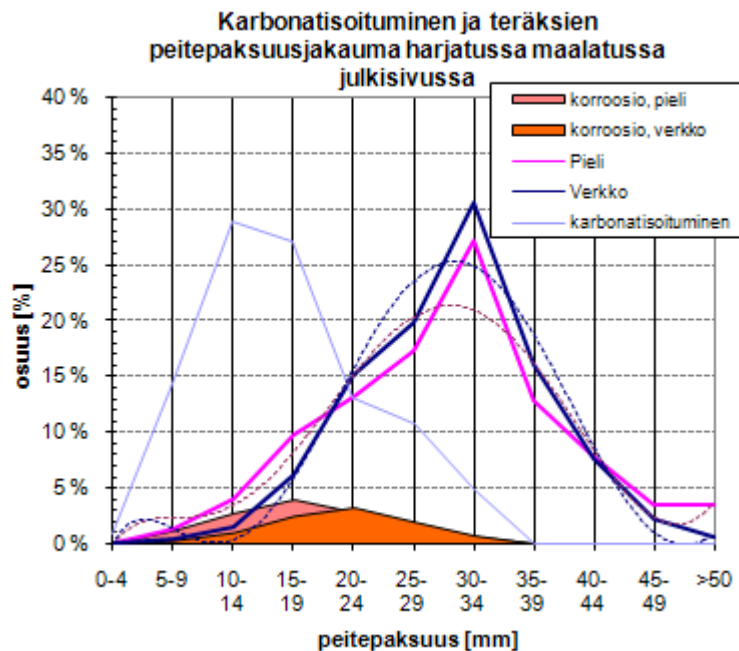
Tietyllä vyöhykkeellä betonissa olevan raudoituksen määrä kerrotaan tämän vyöhykkeen ylittävien karbonatisoitumissyvyyksien osuudella. Määrään lisätään vielä raudoituksen määrä (samalla vyöhykkeellä) kerrottuna tämän vyöhykkeen karbonatisoitumisen osuuden puolikkaalla, koska käytettäessä vyöhykkeen keskimääräisiä arvoja, puolet alueen arvoista ylittää ja puolet alittaa tämän keskiarvon. Seuraavassa on esitetty korroosioalttiin teräksen määrän laskenta kaavamuodossa. Kuvassa 6.4 on kuvaajamuotoinen esimerkki sovellukseen rakennetusta määrän laskennasta.

$$\text{teräsmäärä}_{\text{vyöhyke}} = A_{\text{vyöhyke}} \cdot B_{\text{ylittävä}} + A_{\text{vyöhyke}} \cdot \frac{C_{\text{vyöhyke}}}{2}, \text{ missä}$$

A= raudoituksen määrä tarkastelusyvytydellä

B= tarkasteltavan vyöhykkeen ylittävän karbonatisoitumisen osuus

C= tarkasteltavalla vyöhykkeellä oleva karbonatisoitumisen osuus



Kuva 6.4 Korroosioalttiin teräksen määrä

Sovelluksessa ruostuneen raudoitteen pääasiallisena korjaustapana pidetään laastipaikkausmenetelmää, jossa paikattavan teräksen määrä ja paikkaussyvyys määrittävät korjauskustannukset. Laastipaikkausmenetelmää käytettäessä usein määritetään rajasyvyys, johon ulottuvat teräkset paikataan.

Yleensä ei ole tarkoituksenmukaista tai taloudellista paikata teoreettiseen karbonatisoitumissyvyyteen asti, jolloin rakenteeseen jää korjauksen jälkeenkin ruostuneita raudotteita. Tämä aiheuttaa riskin korjauksen käyttöiän suhteen. Sovelluksen avulla korroosioalttiin teräksen määrä saadaan selville jokaisella syvyydellä ja voidaan hakea paikkaussyvyys, joka on optimaalinen jäljelle jäävän käyttöiän kannalta, mutta myös taloudellisesti järkevä.

Vaurioiden eteneminen

Karbonatisoituminen etenee ajan myötä syvemmälle rakenteeseen. Hiilidioksidin tunkeutuminen vaikeutuu syvemmälle mentäessä ja karbonatisoitumisen eteneminen hidastuu. Sovelluksessa käytetään karbonatisoitumisen etenemiselle neliöjuurimallia (Tuutti, 1982).

$$x = k \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

missä

- x = karbonatisoitumissyvyys [mm]
- k = karbonatisoitumiskerroin [mm/√a]
- t = aika [a]

6.2.6 Korjausvaihtoehdot ja U-arvot

Sovellus ehdottaa korjausvaihtoehdoiksi yleisimpiä julkisivun ja parvekkeiden korjausmenetelmiä.

Sovellus laskee EN-6946 -standardissa esitetyn menetelmän mukaan seinärakenteille U-arvoja. Laskennassa huomioidaan betonikerrokset, eriste sekä ulko- ja sisäpinnan pintavastukset. U-arvo lasketaan tietokannasta poimitulle eristepaksuuden jakaumalle ja arvioidaan lisälämmöneristävän korjauksen vaikutusta. Laskenta on karkea ja sitä tulee käyttää apuna seinärakenteiden ja korjausvaihtoehtojen vertailussa.

6.3 Sovellus

6.3.1 Yleistä

Elementtijulkisivujen korjaustarpeen ennakointisovellus on Excel-taulukkopohjainen ohjelma, joka käyttää taulukkolaskennan makroja. Sovellus käsittää yhden Excel-tiedoston, johon sisältyy sekä itse tietokanta että tiedon jäsentämiseen tarvittavat kaavat. Malli on luotu Microsoft Windows XP -käyttöjärjestelmässä ja Excel 2003 ympäristössä ja on yhteensopiva tästä Excel versiosta eteenpäin.

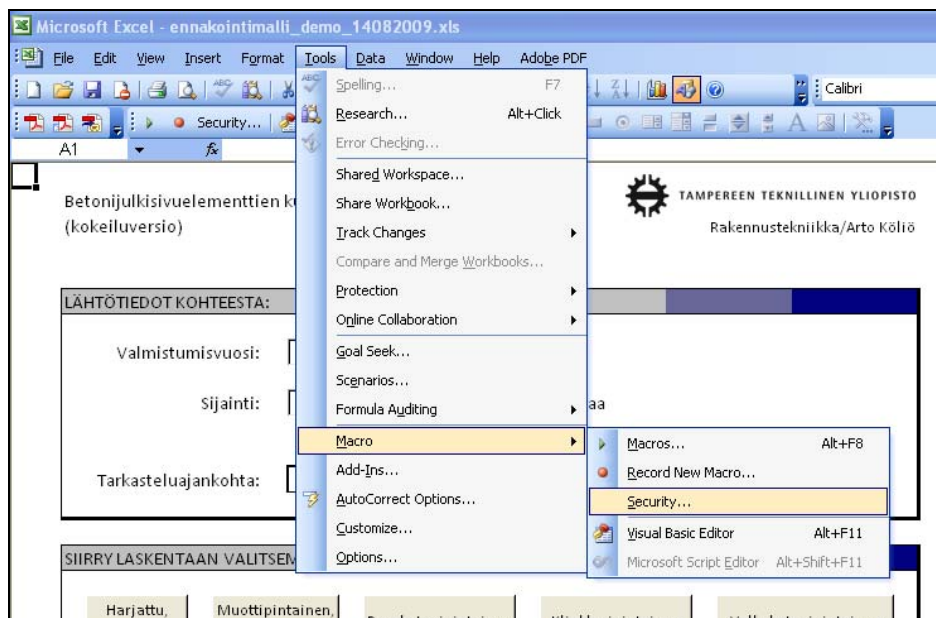
Sovelluksen välilehdet on lukittu käytön helpottamiseksi sekä sovelluksen toiminnan kannalta tärkeiden tietojen suojaamiseksi. Lukitus tarkoittaa sitä, että vain tiettyjen solujen tietojen muokkaus on sallittu. Nämä solut on merkitty vihreällä taustavärillä. Tiedot sovelluksen ylläpitotoimet, kuten kuntotutkimustietojen lisääminen tietokantaan tai kiinteiden asetusten muuttaminen, edellyttävät lukituksen poistamista. Normaali käyttö ei edellytä tällaisia toimia.

Lukitus voidaan poistaa sovelluksen ylläpitotoimia varten. Excel 2003:ssa lukitus poistetaan valitsemalla Tools/Protection/Unprotect sheet. Lukitus on välilehtikohtainen (jokainen välilehti lukittava/ poistettava lukitus erikseen) ja se on varmennettu salasanalla.

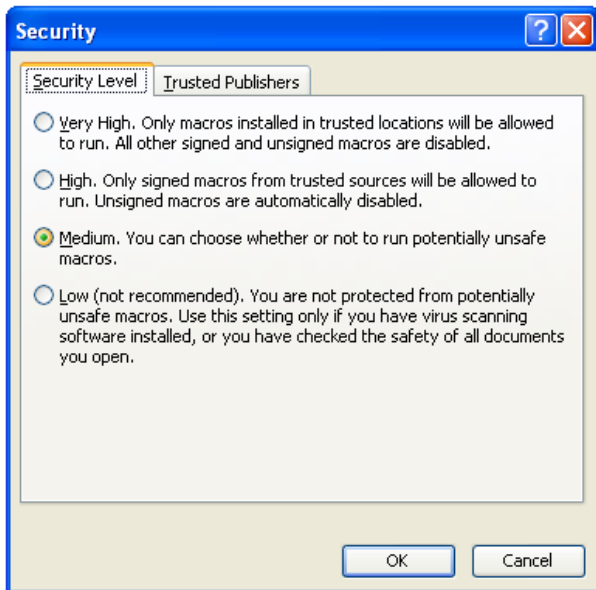
6.3.2 Asennus

Varsinaisia asennustoimenpiteitä sovelluksen käytön aloittamiseksi ei tarvita. Sovellus käynnistetään avaamalla tiedosto *ennakointimalli.xls* Excel-taulukkolaskentaohjelmaan normaalin Excel-taulukon tapaan. Sulje tiedosto aina tallentamatta muutoksia.

Toimiakseen oikein sovellus vaatii kuitenkin, että Excelin makrojen käyttö on sallittu. Oletuksena näin ei ole ja asetus täytyy muuttaa. Makrojen asetukset löytyvät Excel 2003:ssa valikosta Tools/Macro/Security... . Aseta suojauksen tasoksi keskitaso. Excel on käynnistettävä uudelleen, jotta muutokset tulevat voimaan. Nyt Excel kysyy sovellusta avattaessa sallitaanko makrojen käyttö.



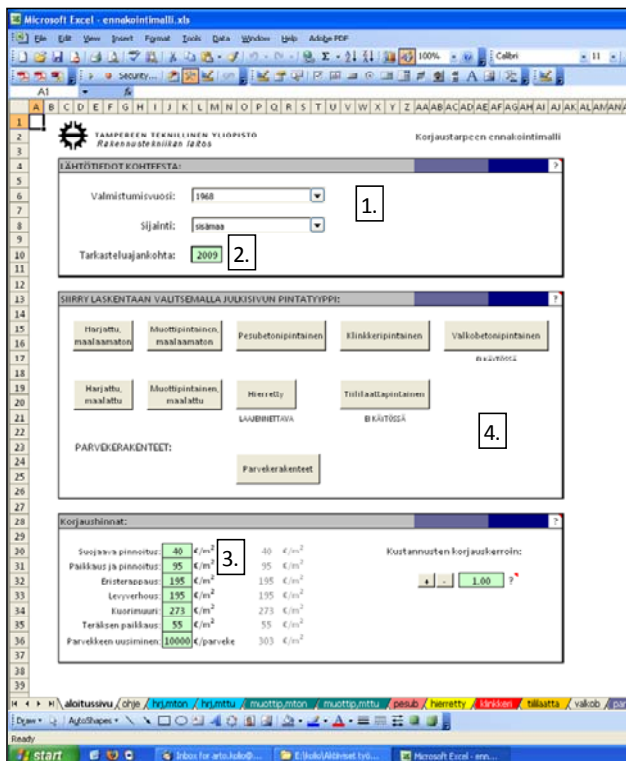
Kuva 6.2 Makrojen suojausasetukset.



Kuva 6.3 Aseta suojaustasoksi medium (keskitaso).

6.3.3 Käyttö

Sovelluksen toimintaa ohjataan alusvetovalikoiden ja painikkeiden avulla. Valmistumisvuoden valinta on tietokannan rajoituksien vuoksi rajattu aikavälille 1965 – 1995. Vuosi valitaan alkusivun alusvetovalikosta. Valmistumisvuoden alapuolelta valitaan rakennuksen sijainti ja tarkasteluvuosi syötetään suoraan sille varattuun soluun. Päävalikossa tehtyjen rajausten jälkeen siirrytään oikeaa julkisivutyyppiä käsittelevälle välilehdelle valitsemalla julkisivutyyppiä vastaava painike. Jos julkisivutyypin kyseisen valmistumisvuoden rakennuksien määrä ei riitä tarkastelun tekemiseen, painikkeen alla on siitä ilmoitus.



Kuva 6.6 Sovelluksen käyttö.

1. Valitse tarkasteltava rakennusvuosi ja rakennusten sijainti alusvetovalikosta. (Vaihtoehdot saadaan esille klikkaamalla valikon oikeassa reunassa olevaa nuolta.)
2. Kirjoita tarkasteluvuosi sille varattuun soluun. (Tuplaklikkaa ja kirjoita)
3. Aseta korjaustoimenpiteiden hinnat ja kustannusten korjauskertoim vastaamaan tarkasteluhetken tilannetta. Hinnat voidaan kirjoittaa niille varattuihin soluihin. (merkitty vihreällä pohjaväriillä) Kerroin voidaan säätää joko painikkeilla +/-, jolloin hyppäys on 0,05 tai kirjoittamalla kertoimen arvo sille varattuun soluun. (Tuplaklikkaa ja kirjoita) Kertoimen arvo 1,00 vastaa vuoden 2009 kustannustasoa.
4. Siirry tulossivulle valitsemalla oikea pintatyyppi. Sovellus ilmoittaa, mikäli valittu vuosi on käyttöalueen ulkopuolella eli kyseisen valmistusvuoden julkisivujen määrä pintatyyppissä on liian vähäinen. Tässä tapauksessa pintatyyppin kohdalla painikkeen alla lukee "EI KÄYTÖSSÄ". Jos laajennusta on käytettävä, painikkeen alla lukee "LAAJENNETTAVA"

Sovellus tulostaa julkisivutyypin välilehdelle kaikki tapausta varten lasketut tiedot. Sivun oikeassa laidassa on palkki, johon on kerätty lähtötietojen muokkaamiseen ja tiedon jäsentämiseen tarvittavat säätimet.

6.3.4 Tiedon lisääminen

Ennakointimallisovellus on rakennettu niin, että uusien kuntotutkimustietojen lisääminen ohjelmaan on mahdollista.

Päästäkseen muokkaamaan sovelluksen tietokantaa, käyttäjän täytyy ensin poistaa taulukon salasanalla varustettu lukitus. Tiedon lisääminen suoritetaan lisäämällä tyhjä rivi tietokantataulukon oikean julkisivutyypin alle. Rivi tulee lisätä alueen keskelle. Näin Excel osaa lisätä sen käytettäviin tietoalueisiin. Tälle riville siirretään käsin lisättävät kuntotutkimustiedot. Sovelluksen tarvitsemat kaavat kopioidaan edelliseltä riviltä.

7 JATKOTUTKIMUSTARPEET

Tutkimuksen aikana on noussut esiin useampia kehitys- ja lisätutkimustarpeita, joista rakennetun ympäristön säilymisen kannalta merkittävimmät on seuraavassa esitetty lyhyesti.

Ennakointisovelluksen päivitys ja jatkokehitys

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden ennakointisovellus perustuu tässä tutkimuksessa koottuun tietokantaan olemassa olevien betonirakennusten kuntotutkimustiedoista. Tietokanta edustaa 1960-luvun lopusta 1980-luvun loppuun saakka varsin hyvin suomalaisen betonirakennuskannan vaurioitumistilannetta. Tietokantaa tulee laajentaa päivitystutkimuksella, jossa kuntotutkimusdataa kerätään 1980-luvun lopun ja sitä uudemmasta rakennuskannasta. Näiden uudempien rakennusten osuus nykyisessä tietokannassa on vähäinen, koska tämän ikäisiin rakennuksiin ei vielä ole juurikaan tehty kuntotutkimuksia. Uuden tiedon keräysaika on noin 5 -10 vuoden sisällä.

Nyt ennakointisovelluksen muuttujina ovat rakenteiden näkyvät vauriot, terästen korroosio karbonatisoitumisen suhteen sekä betonin pakkasenkestävyys ja rakennuksen sijainti. Mikäli kiinteistönomistajilla on tulevaisuudessa valmiuksia tarkempien rakenteiden vaurioitumista kuvaavien suureiden ja ominaisuuksien keräämiseen ja käyttämiseen, on vaurioitumista nykyistä tarkemmin ja herkemmin kuvaavien suureiden käyttäminen mahdollista. Jatkokehityksen yhteydessä sovellusta tulee päivittää myös uusia ohjelmistoja silmällä pitäen.

Rakenteiden käyttöikämallien kehitys

Nykyisin käytössä olevat rakenteiden elinkaarilaskentamallit pohjautuvat teoreettisiin vaurioitumismalleihin sekä joihinkin laboratoriokokeisiin ja niitä käytetään uusien rakenteiden tulevan käyttöiän arvioimiseen. Jo olemassa olevan rakennuskannan käyttöiän arvioimiseen nämä teoreettiset mallit eivät useinkaan sovi, sillä niissä tarvittavia lähtöarvoja ja -olettamuksia ei ole luotettavasti saatavilla.

BeKo-tietokannasta saadaan runsaasti tietoa rakenteita vaurioittavista ilmiöistä todellisissa luonnonolosuhteissa pitkältä ajanjaksolta. Näiden tietojen sekä todellisten mitattujen säähavaintojen perusteella voidaan kehittää todellisiin mittauksiin perustuvia tarkempia käyttöikämallia olemassa oleville 1960 – 1980 -lukujen betonielementtirakennuksille.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi olemassa olevaan rakennuskantaan

Uudisrakentamisessa rakentamistapojen muutokset ovat menossa kohti energiatehokkaampaa rakentamista. Tähän ovat ohjaamassa mm. kiristyneet lämmöneristysvaatimukset vuoden 2010 alusta sekä myös tulevat kiristykset ja suuntaus ns. passiivitalojen rakentamiseen. Uudisrakentamisen kohdalla rakenteiden ja rakentamistapojen sopeutumisesta tulevaisuuden ilmastoon tutkitaan mm. Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen FRAME-tutkimuksessa.

Tässä BeKo - Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat -tutkimuksessa on koottu betonielementtirakenteiden materiaali- ja rakenneominaisuuksia, nykykuntoa ja vaurioitumista kattavasti kuvaava tietokanta noin 950 betonielementtirakennuksen kuntotutkimustiedoista. Tietokannan rakennukset ovat valmistuneet välillä 1963 – 1996. Valtaosa suomen rakennuskannasta on rakennettu 1960-luvulla ja sen jälkeen, joten määrällisesti rakennuskannassa korostuu betonielementtirakentaminen.

Nykyisen jo olemassa olevan rakennuskannan sopeutumisesta tulevaisuuden ilmastoon ei ole tehty, eikä siitä ole vielä käynnistetty laajempia tutkimuksia tai selvityksiä. Asia on kuitenkin merkittävä, sillä nyt suunniteltavien rakennusten käyttöikätaavoite on 50 – 100 vuotta ja vanhemmankin rakennuskannan käyttöikää jatketaan korjaamalla.

Ilmaston muuttumisesta tulevaisuudessa on tehty lukuisia erilaisia malleja, joita on käyty kattavasti läpi mm. Ilmatieteen laitoksen ACCLIM-tutkimuksessa. Lisäksi Ilmatieteen laitos on kehittänyt oman ennustemallinsa tulevaisuuden säiden ennustamiseen. Tällaisten ilmastomallien avulla laaditaan ennusteita mm. tuulisuuden, sateisuuden ja jäätymissulamiskertojen muutoksista. Kuivumisolosuhteiden tarkastelussa ilman Rh ja lämpötila ovat edellisten lisäksi merkittäviä muuttujia.

Näiden ilmastotietojen perusteella voidaan arvioida rakenteille tulevien sademäärien ja kuivumismahdollisuuksien muutoksia nykyiseen ilmastoon verrattuna. Huokoisten materiaalien kohdalla jäätymissulamissykliä määrä huokosverkosto täyttyneenä on rapautumisen kannalta kriittistä, ilman kosteuden ja rakenteen kosteus puolestaan lisäävät terästen korroosionopeutta ja mahdollistavat homeen kasvua.

Betonilähiöiden korjaustarpeen arviointi valtakunnallisella tasolla

Rakenteiden vaurioitumisen ennakoitsovelluksen avulla on mahdollista tarkastella betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjaustarpeita koko Suomen mittakaavassa. Lähtötiedoiksi tulee selvittää millainen betonielementtirakennuskanta Suomeen on vuosikymmenten kuluessa rakennettu. Ennakointisovelluksen avulla voidaan tarkastella erityyppisten julkisivu- ja parvekekorjausten tarvetta, korjausmääriä sekä korjauskustannuksia.

BeKo-tietokantaan on kerätty myös betonijulkisivujen lämmöneristeiden näytteenottokohdista mitatut paksuudet. Näistä todellisista eristepaksuuksista on mahdollista laatia jakaumat, joita voidaan käyttää olemassa olevan elementtikerrostalokannan todellisten U-arvojen laskennassa. Näistä jakaumista on mahdollista tarkastella määräysten vaikutusta eristepaksuusiensa todelliseen toteutumiseen sekä tehdä erilaisia laskennallisia tarkasteluja lisälämmöneristyksen vaikutuksista ulkoseinien energiankulutukseen.

Suojaavan pinnoituskorjauksen kehittäminen pesubetonijulkisivuille

Sadevettä pidättäviä mutta vesihöyryä läpäiseviä ns. suojaavia pinnoitteita on käytetty betonirakenteiden laastipaikkausten yhteydessä Suomessa jo joitakin vuosia. Näiden pinnoitteiden rakenteita suojaava vaikutus perustuu betonirakenteen kosteuspitoisuuden merkittävään alenemiseen (Mattila & Pentti 2004). Suojaavia pinnoitteita on käytetty lähinnä maalatuilla julkisivuilla sekä parvekkeilla, joissa pinnoite on helposti saatavissa yhtenäiseksi.

Yli 50 % vanhoista pesubetonijulkisivuista ei ole pakkasenkestäviä kosteusrasituksessa, sillä niiden suojahuokossuhde p_r on alle 0,10. Suojaavia pinnoitteita ei karkeilla pesubetonijulkisivuilla ole Suomessa käytetty, koska pinnoitekerros pitää saada yhtenäiseksi mutta kuitenkin riittävän ohueksi, jotta maalipinnan vesihöyrynläpäisevyys pysyy riittävän alhaisena.

Pesubetonijulkisivuille tulee kehittää niille soveltuvia vesihöyryä hyvin läpäiseviä mutta sadevettä pidättäviä maaleja, joilla saadaan luotettavasti yhtenäinen pinta karkeaan pesubetonijulkisivuun. Tuoteominaisuuksien lisäksi kehitystyötä on tehtävä soveltuvien työtekniikoiden sekä laadunvarmistustoimien löytämiseksi.

Esimerkiksi Saksassa pesubetonijulkisivuja on uudistettu maalaamalla hyvinkin paljon. Tosin olosuhteet eivät pakkasrapautumisen suhteen ole yhtä ankarat kuin Suomessa.

Kirjallisuusviitteet

Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 42. 178 s.

Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. Porvoo. Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 41. 110 s.

Fagerlund G. 1977. The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete. Tentative RILEM recommendation. Prepared on behalf of RILEM Committee 4 CDC. *Materiaux et Constructions* 1977 no 58. pp. 217-229.

Haukijärvi, M., Hekkanen, M., Lahdensivu, J. 2006. JUKO- Ohjeistokansio julkisivukorjau hankkeen läpiviemiseksi. Tampereen teknillinen yliopisto, VTT ja Julkisivuyhdistys. 808 s. www.julkisivuyhdistys.fi

Jerling A., Schechninger B., Fogars beständighet. Bygghögskolebyråns. Rapport R89:1083. Tukholma 1983

Jokela A-M. 2008. Pesubetonijulkisivun vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. 76 s.

Mattila J., Pentti M. 2004. Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. Tutkimusraportti 123. 69 s.

SFS-EN ISO 6946. 1997. Rakennuskomponentit ja osat. Lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto. 18 s.

Tilastokeskus 2009. www.tilastokeskus.fi. 22.12.2009

Tuutti K. 1982. Corrosion of Steel in Concrete, Swedish Cement and Concrete Institute, Stockholm, 304 p.

Vainio et al. 2002: Korjausrakentaminen 2000–2010. Espoo 2002. VTT Tutkimusraportti 2154. 60 s. + 25 liites.

Vainio T., Lehtinen E., Nuutila H. 2005. Julkisivujen uudis- ja korjausrakentaminen. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tampere, 2005. 39 s. Julkaisematon.

Weijo, I., 2008. Betoniparvekkeiden pakkasenkestävyys olemassa olevissa rakenteissa. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikka. 172 s.

**Talonrakennustekniikan tutkimusraportit v. 1998 – 2010**

- 148 Lahdensivu, J., Varjonen, S., Köliö, A., Betonijulkisivujen korjausstrategiat. TTY 2010. 79 s. 34 €.
- 147 Bzdawka, K., Composite column – calculation examples. TUT 2010. 54 p. 34 €
- 146 Bzdawka, K., Optimisation of a steel frame building. TUT 2009. 104 p. + 38 app. 34 €.
- 145 Leivo, V., Ohje uimahallien ja kylpylöiden lattioiden liukkauden ehkäisemiseen. TTY 2009. xx s. + x liites.
- 144 Leivo, V., Uimahallien laattalattioiden liukkaus. TTY 2009. xx s. + x liites.
- 143 Vinha, J., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Salminen, K., Paajanen, L., Strander, T. & Iitti, H. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homeutumisriskin laskennallinen arviointi. TTY 2009. xx s. + 2 liites. 42 €
- 142 Rauhala, J., Kylliäinen, M., Eristerapatun betoniseinän ilmaänen eristävyys. TTY 2009. 119 s. + 83 liites. 42 €.
- 141 Aho, H., Korpi, M. (toim.) Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. TTY 2009. 100 s. 42 €.
- 140 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TTY 2009. 148 s. + 19 liites. 42 €.
- 139 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. TTY 2006. 57 s. + 55 liites. 34 €.
- 138 Heinisuo, M., Aalto, A., Stiffening of Steel Skeletons Using Diaphragms. TUT 2006. 31 p. 7 app. 34 €.
- 137 Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka. TTY 2006. 205 s. 42 €.
- 136 Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M., Conservation and Maintenance of Concrete Facades Technical Possibilities and Restrictions. TUT 2006. 29 p.
- 135 Heinisuo, M., Ylihärsilä, H., All metal structures at elevated temperatures. TUT 2006. 54 p. 37 app. 34 €.
- 134 Aho, H., Inha, T., Pentti, M., Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä. TTY 2006. 106 s. + 38 liites. 42 €.
- 133 Haukijärvi, M., Varjonen, S., Pentti, M., Julkisivukorjausten turvallisuus. TTY 2006. 25 s. + 111 liites.
- 132 Heinisuo, M., Kukkonen, J., Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. TUT 2005. 41 p. 34 €.
- 131 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiivyys. TTY 2005. 102 s. + 10 liites. 42 €.
- 130 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Valovirta, I. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta diffuusion kannalta tarkasteltuna. 42 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 129 Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. TTY 2005. 101 s. + 211 liites. 42 €.
- 128 Leivo, V., Rantala, J., Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY 2005. 140 s. 34 €.
- 127 Lahdensivu, J., Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. TTY 2003. 156 s. + 9 liites. 34 €.
- 126 Leivo, V., Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. TTY 2003. 63 s.
- 125 Kylliäinen, M., Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. TUT 2003. 63 p. + 50 app. 34 €.



- 124 Myllylä, P., Lod, T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli, toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari. TTY 2003. 143 s. + 6 liitteenä. 34 €.
- 123 Mattila, J., Pentti, M., Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. TTY 2004. 69 s. 42 €.
- 122 Leivo, V., Rantala, J., Moisture Behavior of Slab-on-Ground Structures. TUT 2003. 100 p. + 12 app. 34 €.
- 121 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK 2002. 33 s. + 11 liitteenä.
- 120 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK 2003. 106 s. + 13 liitteenä. 34 €.
- 119 Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Paukku, E., Kosteusvirtatutkimus. TTKK 2002. 92 s. + 3 liitteenä. 34 €.
- 118 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen, osa II. TTY 2003. 58 s. + 12 liitteenä. 30 €.
- 117 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Comparison of the Moisture Behaviour of Timber-Framed Wall Structures in a One-Family House. 34 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 116 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. TTKK 2002. 54 s. + 11 liitteenä. 34 €.
- 115 Junttila, T., Venäjän rakennusalan säädöstö ja viranomaishallinto, osa I ja II TTKK 2001. 97 s. 34 €
- 114 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakennusalan tuotekortit. TTKK 2001. 63 s. 34 €
- 113 Junttila, T., Lod, T., Aro, J., Rakennusinvestointihankkeen toteuttaminen Moskovassa. TTKK 2001. 112 s. + 11 liitteenä. 34 €
- 112 Junttila, T., (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa B: Talonrakennustekniikka. TTKK 2001. 174 s. 34 €
- 111 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa A: Liiketoimintaympäristö ja rakennushankkeen johtaminen. TTKK 2001. 173 s. + 21 liitteenä. 34 €
- 110 Юнтіла, Т. (под ред.), Управление недвижимостью в России. Теория и практические примеры. Технический университет Тампере 2001. 356 стр. + приложения на 33 стр. 34 €
- 109 Junttila, T., (toim.) Kiinteistöjohtaminen Suomessa ja Venäjällä. Edellytykset kiinteistöalan yhteistyölle. TTKK 2001. 293 s. + 54 liitteenä. 34 €
- 108 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen. TTKK 2001. 80 s. + 7 liitteenä. 34 €
- 107 Binamu, A., Lindberg, R., The Impact of Air Tightness of The Building Envelope on The Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. TTKK 2001. 62 p. + 7 app., 25 €
- 106 Leivo, V., Rantala, J., Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK 2000. 124 s. 34 €
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 34 €
- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 46 p. + 9 app. 25 €
- 103 Vinha, J., Käkelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 34 €
- 102 Suonketo, J., Pessi, A-M., Pentti, M.,
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liitteenä. 42 €
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liitteenä. 42 €
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liitteenä. 34 €
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekniikka osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liitteenä. 34 €



- 96 Vinha, J., Käkelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 2001. 3 painos. 81 s. + 29 liites. 34 €
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 25 €
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 42 €
- 93 Lepo, K., Laatuajärjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 liites.
- 92 Berg, Malinen, P., Leivo, V., Internal Monitoring of The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries – Rapid Programme. TUT 1998. 81 s. + 93 liites.
- 91 Berg, P., Salminen, K., Leivo, V., Nopeat tuotantojärjestelmät teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1998-2000 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1998. 55 s. + 37 liites.
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €

Tutkimusraportin hinta:**20 €, ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään.****Hintoihin lisätään alv 8 %.****Myynti:****Juvenes-Yhtiöt Oy, Tampereen teknillisen yliopiston kirjakauppa, Rakennustalo****Korkeakoulunkatu 5, 33720 Tampere****Puh.(03) 3115 2351, faksi (03) 3115 2191, tty.kirjakauppa@juvenes.fi****tai Tampereen teknillinen yliopisto, Terttu Mäkipää puh. (03) 3115 4804,****terttu.makipaa@tut.fi**

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FIN-33101 Tampere, Finland