

Karbonatisoitumisen eteneminen olemassa olevissa betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa sekä sisärakenteissa

Arto Kōliö, dipl.ins., tutkija

Jukka Lahdensivu, tekn.tri

Rakennustekniikan laitos

Tampereen teknillinen yliopisto TTY

www.tut.fi/elinkaari

Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) tutkimusten mukaan Jakomäessä nyt purettavien pesubetonisten julkisivujen korroosiosuoja oli edelleen hyvä, vaikka selviä purkamisen perusteena olleita puutteita esiintyi pakkasenkestävyydessä sekä rakennusten talotekniikassa ja energiatehokkuudessa. Tutkimuksissa keskitettiin selvittämään nyt käyttöikänsä päässä olevan rakennuksen betonin säilyvyysominaisuuksia ja vaurioitumisen etenemistä verrattuna aikaisempaan vuonna 1994 tehtyyn julkisivujen kuntotutkimukseen.

Julkisivun raudoitteiden

korroosiosuoja oli edelleen hyvä

Vuonna 1994 Jakomäessä toteutettiin alueen peruskorjausohjelman suunnitteluun liittyvä laajamittainen julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimushanke, joka käsitti kaikkiaan 31 rakennuksen rakenteita otosluonteisesti. Jakomäentie 6:ssa sijainnut nyt purettu talo A oli yksi tuolloin perusteellisesti tutkituista rakennuksista. Rakennus oli valmistunut vuonna 1968.

Vuoden 1994 tutkimusten perusteella julkisivujen karbonatisoituminen oli hieman keskimääräistä pesubetonia nopeampaa (karbonatisoitumisnopeutta kuvaava kerroin oli 2,28 mm/ $\sqrt{a}$). Karbonatisoitumisrintama oli tuolloin näissä julkisivuissa keskimäärin 12 mm syvyydessä. Vastaavasti samoissa olosuhteissa olevissa maalattupintaisissa parvekepielissä karbonatisoituminen oli edennyt keskimäärin 15 mm karbonatisoitumiskertoimen ollessa 2,94 mm/ $\sqrt{a}$.

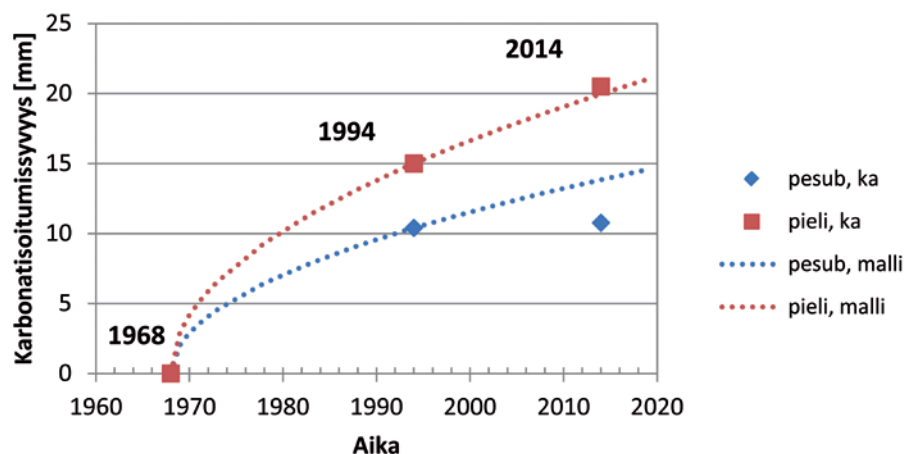
Korroosiovaurioiden riski oli kuitenkin matala, koska pesubetonijulkisivun valmistustekniikasta johtuen raudoituksen peitepaksuudet olivat muodostuneet verrattain hyväksi paksun pesumassan ansiosta (jonka päälle raudoitus asennettiin). Pesubetonin raudoituksen peitepaksuudet olivat keskimäärin 30 mm (minimi 0 mm) pieliterästen osalta ja 38 mm (minimi 29 mm) verkkoraidoituksen osalta.

Suurimmillaan korroosion riski oli pesubetonijulkisivun sijaan maalattupintaisissa parvekkeen elementeissä, joissa korroosioriski myös realisoitui, ja myös parvekkeiden käyttökieltoa harkittiin 2000-luvun lopulla. Maalattupintaisissa parvekkeen pieliementeissä raudoituksen keskimääräiset peitepaksuudet olivat vastaavasti 15 mm (minimi 4 mm) pieliterästen osalta ja 15 mm (minimi 7 mm) verkkoraidoituksen osalta.

1 Karbonatisoitumisen eteneminen Jakomäentie 6 A:n pesubetonisessa päätyjulkisivussa sekä parvekepielessä vuoden 1994 ja 2014 mittausten mukaan sekä mallinnettuna vuoden 1994 mittausten perusteella.

2 Jakomäentie 4 (ent. Jakomäentie 6A) purettavan kerrostalon parvekejulkisivu mittausten aikana. Rakennukseen oli tehty laajamittainen julkisivujen kuntotutkimus vuonna 1994, jossa on määritetty mm. karbonatisoitumissyvyys ja karbonatisoitumiskerroin sekä raudoituksen peitepaksuudet.

3 Jakomäen talojen purku tuli ajankohtaiseksi, koska kustannuslaskelmissa todettiin ettei peruskorjauksella päästä energiatehokkuus-, huoneisto-ohjelmien ja esteettömyyden osalta uudenveroihin asuntoihin.



Artikkelin kuvat: Arto Koliö

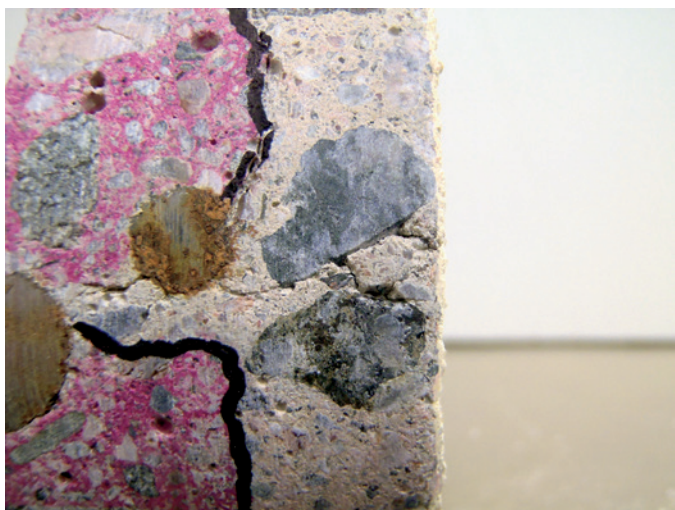


2

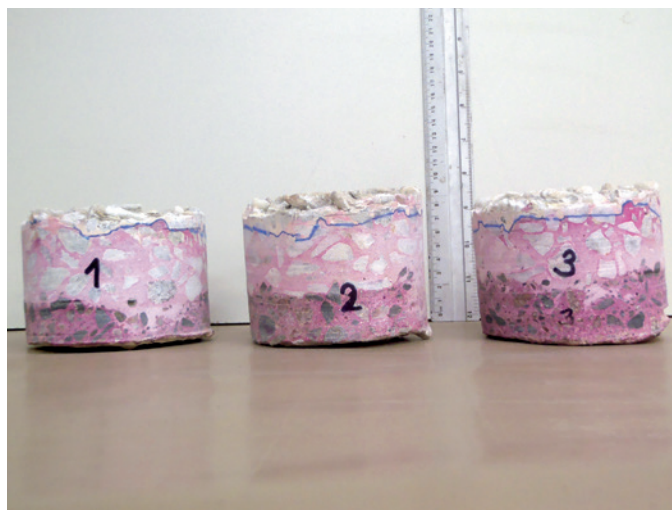


Helsingin Sanomat

3



4



5

Uusintatutkimuksissa keskeytettiin määrittämään ominaisuuksia, joiden avulla voidaan tutkia vaurioitumisen etenemistä tutkimusten välillä kuluneen 20 vuoden aikana sekä verrata tuolloin tehtyjä ennusteita nykyhetkeen. Vuonna 2014 tehdyt uusintamittaukset osoittavat, että karbonatisoituminen ei ole pesubetonissa edennyt yhtä nopeasti kuin on ennustettu vuoden 1994 mittauksen mukaan. Tämä voi johtua mm. siitä, että idealisoitu malli ei ota huomioon betonin kosteuden vaikutusta oikein. Karbonatisoitumisreaktion edellytyksenä on, että betonissa on riittävä kosteuspitoisuus, mutta myös yläraja löytyy. Tietyin kosteuspitoisuuden jälkeen hiilidioksidin diffuusio betoniin vaikeutuu ja karbonatisoituminen hidastuu. Näin on voinut käydä hyvin vettä imevässä viistosateelle alttiissa pesubetonissa. Maalattupintaisissa parvekepielissä, joissa maalipinta antaa betonille jonkinasteisen suojan viistosateelta, karbonatisoituminen oli edennyt lähes epäilyttävän tarkasti mallin mukaisesti.

Pesubetonin pakkasenkestävyys osoittautui ongelmalliseksi

Jo vuoden 1994 tutkimuksissa havaittiin, että pakkasrapautuminen oli vaurioittanut pesubetonikerrosta, mutta vaurioiden aste oli vielä tuolloin lievää. Kaikkien ulkobetonirakenteiden pakkasenkestävyysominaisuudet osoittautuivat myös huonoiksi, eli vaurioitumisen oli oletettavaa lisääntyvän tulevaisuudessa. Pakkasenkestävässä betonissa tulee olla kapillaarisesti täyttymättömiä ns. suojahuokosia vähintään 20 % koko huokostilavuudesta, eli betonin suojahuokossuhteen tulee olla vähintään 0,20. Tämän lisäksi suojahuokosten tulee sijaita riittävän lähellä toisiaan. Rakenteiden suojahuokossuhteet vaihtelivat pesubetonissa 0,02-0,07 ja maalattupintaissa betonirakenteissa 0,10-0,21.

Vain yksi yksittäinen mittaustulos täytti suojahuokossuhteen vaatimuksen 0,20. Tilanne pakkasenkestävyyden osalta on tyypillinen tämän aikakauden pesubetonirakenteille.

Pakkasenkestävyysominaisuuksissa esiintyy tyypillisesti paljon hajontaa elementtien sekä betonimassan valmistuksen ja suojahuokostuksen eroista johtuen. Uusintatutkimuksissa havaittiin tiheän näytteenoton perusteella, että suojahuokossuhde oli melko vakio yhden elementin matkalla, mutta elementtien välillä saattoi olla huomattaviakin eroja. Toisaalta tulosten suureen hajontaan saattoi siis olla syynä yhden yksittäisen elementin epäonnistuminen. Samaa käyttäytymistä havaittiin myös elementin kastumiskäyttäytymiseen vaikuttavassa betonin kapillaarihuokoisuudessa. Kohteen elementit oli valmistettu pääasiassa työmaavalimossa, joten materiaalin ominaisuuksien suuri vaihtelu oli odotettavissa.

Pesubetonin hyvän korroosiosuojan kannalta oli siis ongelmallista, että elementtien pakkaskestävyydessä oli puutteita. Korjaustarpeen kannalta kun on yhdentekevää mikä on ollut merkittävin vaurioitumismekanismi. Itse korjaustapaan vaurioitumismekanismilla onkin sitä suurempi merkitys. Tässä kyseisessä rakennuksessa osoittautuikin järkeväksi ajaa pesubetonijulkisivut peruskorjausohjelman mukaisesti hallitusti ”loppuun”.

Rakennuksen toteutuneeseen käyttöikään vaikuttaneet tekijät

Purkamisen myötä voidaan myös luontevasti käsittää rakennuksen käyttöiän päättyneen samalla hetkellä. Näin koko rakennuksen todelliseksi käyttöiäksi muodostui 46 vuotta. Todennäköisesti rakennuksen purkamisen ratkaisivat pääasiassa kustannustarkastelu sekä energiataloudelliset syyt. Rakennuksen eri

osille muodostuvat kuitenkin erilaiset käyttöiät johtuen erilaisista olosuhteista ja rakenteen ominaisuuksista. Rakennuksen ulkorakenteiden osalta käyttöikä oli päättynyt aikaisemmin pesubetonijulkisivuissa pakkasrapautumisen seurauksena sekä parvekerakenteissa raudoitteen korroosion vaikutuksesta. Vuoden 1994 tutkimuksessa jo havaittiin pakkasrapautumisen edenneen melko pitkälle ja parvekekaiteissa ja -pielissä havaittiin runsaasti korroosiovaurioita. Pääasiassa vaikuttavia tekijöitä olivat olosuhteet, joihin rakenteet olisi tullut suunnitella, eli viistosade- ja pakkasrasitus. Erityisesti rakenteen ominaisuudet, julkisivubetonin puutteellinen suojaahuokostus ja parvekerakenteiden raudoituksen pienet betonipeitepaksuudet aiheuttivat lyhyemmän käyttöiän.

On muistettava, että Jakomäentien kohteen rakentamisen aikana vastaavaa säilyvyysuunnittelun menettelyä ei vielä ole ollut. Nykyisin vastaavien betonirakenteiden tyyppillinen suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. Jakomäen kohteessa rakennus oli käytössä lähes vastaava ajan ilman suunnitteluakin, joten on odotettavissa, että nykyisten rakennusten osalta toteutunut käyttöikä on yleisesti vieläkin pidempi.

Tyypillistä rakennuksen käyttöiässä on, että rakennuksen runko, joka sijaitsee vaipan suojassa tasaisissa olosuhteissa, on edelleen moitteettomassa kunnossa. Samoin havaittiin myös Jakomäentien kohteessa. Näillä betoni-rakenteilla on edelleen rakennuksen purkuvai-heessa erinomainen uudelleenkäyttöpotentiaali, kunhan elementtien irrotuksen (ja uudelleen kiinnityksen) menetelmä ja välivarastoinnin kysymykset voidaan ratkaista. On otettava myös huomioon, että tulevan käyttötarkoituksen on vastattava sekä mekaaniselta että ympäristön rasi-tustasoltaan alkuperäistä tai alemman rasi-tustason tilannetta.



6

4 Betoninäytteen karbonatisoitumisrintama halkeaman kohdalla.

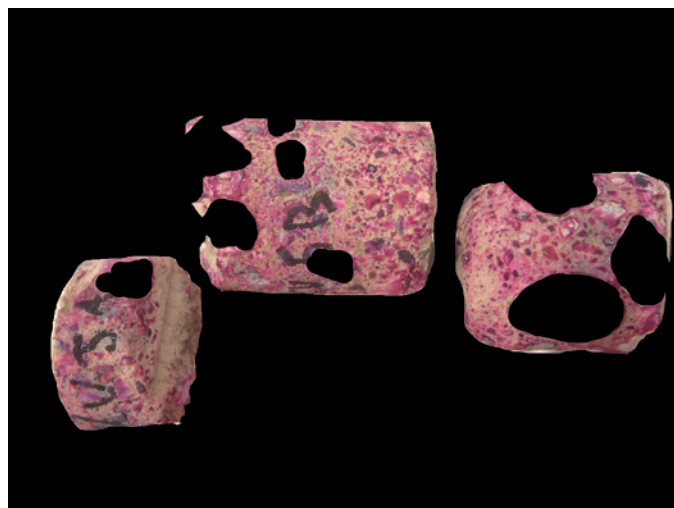
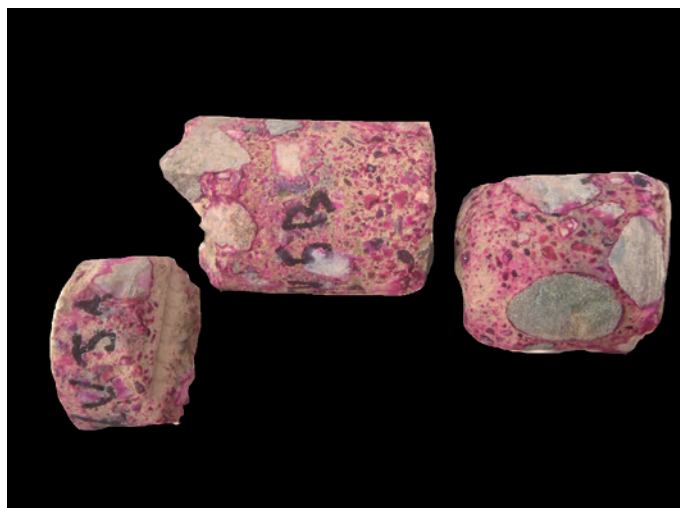
5 Pesubetoninäytteitä.

6 Sisärakenteen betoninäyte.

7 Näytteenottoa rakennuksen etelänurkalla julkisivuissa ja parvekkeilla.



7



8,9 Sisäbetoninäytteiden karbonatisoitumisen kuva-analyysi

Karbonatisoituminen rakennuksen sisä rakenteissa

Tutkimuksia ei nyt uusintakerralla kohdennettu ainoastaan rakennuksen julkisivuille, vaan tarkasteluun otettiin myös rakennuksen sisäseinissä tapahtuva karbonatisoituminen. On oletettavaa, että myös rakennuksen betonirunko karbonatisoituu käyttöikänsä aikana toimien näin eräänlaisena hiilinieluna. Tästä näkökulmasta olikin mielenkiintoista selvittää miten karbonatisoituminen esiintyy ja etenee huomattavasti ulko-olosuhteista eroavassa ympäristössä. Mikäli elementit rakennuksen käyttöiän päättyessä voidaan vielä käyttää uudelleen uudessa käyttötarkoituksessa, hiilinieluvaihtelu on pysyvä, eikä vapaudu takaisin ympäristöön materiaalin kierrätyksen yhteydessä.

Tutkimuksessa havaittiin, että betonin karbonatisoituminen ei käyttäydy kuivissa olosuhteissa samalla tavalla kuin viistosateelle alttiissa julkisivuissa. Rakenteiden pinnalla oli havaittavissa vain hyvin pieni karbonatisoitumisrintama, joka on todennäköisesti muodostunut jo rakentamisaikana. Poikkeuksena ulkoseinän sisäkuoresta otettujen näytteiden eristetilan vastaisilla ulkopinnoilla esiintyi huomattava keskimäärin 12 mm karbonatisoitumisrintama. Toisaalta, epätasaisia karbonatisoituneita alueita oli havaittavissa koko betonirakenteen paksuuden matkalla. Toisin sanoen hiilidioksidin tunkeutuminen kuiviin sisäbetonirakenteisiin on tapahtunut hyvin vapaasti, mutta hiilidioksidia sitovan karbonatisoitumisreaktion tapahtumiseksi riittävää kosteutta ei ole ollut juuri muualla kuin eristetilan lähellä ja aivan ulkopinnassa. Betoni on näin karbonatisoitunut epätasaisesti aina riittävän kosteuspitoisuuden vallitessa esimerkiksi sisäpuolisten kosteuskuormien vaikutuksesta. Karbonatisoitumista tutkit-

tiin betoninäytteiden kuva-analyysin avulla, mutta arviointi oli nyky menetelmillä vaikeaa. Karbonatisoituneen betonin osuutta voitaisiin selvittää tarkemmin esimerkiksi materiaalin karakterisoinnin menetelmillä.

Mitä tehtiin

Tutkimukset tehtiin osana TTY:n Rakennustekniikan laitoksella käynnissä olevaa korroosio- vaurioiden mallintamisen tutkimushanketta, jonka tavoitteena on tarkentaa nykyistä betonirakenteiden käyttöiän laskentamenetelmää ottamalla käyttöiässä hallitusti huomioon laajemman kokonaisuuden. Jakomäen kohde sopii tarkasteluiltaan mainiosti tutkimushankkeen aihepiiriin.

Tutkimusmahdollisuuteen herättiin syksyllä 2014, kun luettiin uutinen Helsingin Sanomien kuukausiliitteestä Jakomäen purkutalojen aikataulusta.

Tutkimuskohde oli osoitteessa Jakomäentie 4 (ent. Jakomäentie 6A) sijainnut vuonna 1968 valmistunut elementtikerrostalo. Kerrostalo purettiin osana uudisrakennushanketta marraskuun 2014 aikana, ja TTY:lle tarjottiin mahdollisuus näytteenottoon ennen betonirakenteiden purkua. Uusintamittauksissa keskityttiin betonin karbonatisoitumisen sekä huokoisuusominaisuuksien tutkimiseen. Neli-kerroksisessa kerrostalossa oli pesubetonijulkisivu ja alimman parvekkeen varaan rungosta kannatetut betoniset parveketornit. Kyseiseen rakennukseen oli tehty laajamittainen julkisivujen kuntotutkimus vuonna 1994, jossa on määritetty mm. karbonatisoitumissyvyys ja karbonatisoitumiskerroin (neliöjuurimallille) sekä raudituksen peitepaksuudet.

Tutkimuksen tekee mielenkiintoiseksi se, että samaan rakennukseen on tehty TTY:n tutkijoiden toimesta laajamittainen kuntotutki-

mus jo vuonna 1994. Nyt tehdyn näytteenoton perusteella voitiin siis suoraan selvittää vaurioitumisen etenemistä 20 vuoden aikajänteellä.

Jakomäen kohteen tutkimukset tehtiin yhteistyössä rakennushankkeen osapuolten Heka-Jakomäki Oy:n kiinteistöpäällikkö Ismo Hämäläisen, Rakennusosakeyhtiö Hartelan työpäällikkö Arttu Närväsen ja työnjohtaja Markku Koikkalaisen sekä Delete Oy:n projektipäällikkö Hannu Kosken kanssa. Lisäksi tutkimuksia rahoittivat Betoniteollisuus ry, Betoniyhdistys ry ja Julkisivuyhdistys ry.

Tutkimuksen toteuttivat TTY:n Rakenteiden elinkaari tekniikan tutkimusryhmän tutkijat Arto Koliö, Toni Pakkala ja Jussa Pikkuvirta TkT Jukka Lahdensivun johdolla.

10 Jakomäentie 4 (ent. Jakomäentie 6A) purkutyön aloituksen aikana loppuvuonna 2014. Alueen yhdestä kerrostalosta viisi on aiemmin peruskorjattu ja nyt neljä taloa purettiin osana uudisrakennushanketta.

11 Jakomäen neljän talon purku käynnissä. Kierrätysprosentti hankkeessa nousi yli 90 prosentin. Sisätilojen puutavara toimitettiin lämpöenergian tuotantoon. Murskattu betoni toimitettiin Rudus Oy:n Länsisalmen asemalle pulveroitavaksi. Pulveroitua betonia käytetään pääasiassa tierakennuksessa kantavien kerrosten tekoon. Teräkset kierrätetään romuttamoihin.



10

Progress of carbonisation of existing concrete facades and balconies as well as indoor structures

An extensive condition research project on facades and balconies was executed in the Jakomäki area of Helsinki in 1994. The project, which was related to the planning of the renovation programme for the area, covered structures in 31 buildings. The house at 6 Jakomäentie Road, which has since been demolished, was one of the buildings in which thorough examinations were carried out. The building had been completed in 1968.

The examinations carried out in 1994 showed that the progress of carbonisation of the facades was slightly faster than with exposed aggregate concrete on average. The corrosion risk was at its highest on the painted precast balcony units instead of the exposed aggregate concrete facades. The corrosion risk was also realised in the balcony units to the extent that a ban to use the balconies was considered at the end of the 2000's.

According to the studies of Tampere University of Technology, the exposed aggregate concrete facades that are now being demolished in Jakomäki still boast good corrosion protection. However, clear shortcomings, which were the reason for the demolition, were found in frost resistance as well as in the building services and



11

energy efficiency of the buildings. The studies focused on the durability properties of concrete as well as on the progress of damage in the buildings that had reached the end of their service life. The results were compared with the previous condition study of facades carried out in 1994.

The studies were conducted as part of a research project on the modelling of corrosion

damage currently under way in the Department of Civil Engineering at Tampere University of Technology. The aim of the project is to develop a more precise method for the calculation of the service life of concrete structures based on a wider consideration of all service life factors.

Helsingin Sanomat