

Betonijulkisivujen korjaushankkeita voidaan ajoittaa mallinnuksen avulla

Arto Köliö, tutkijatohtori
Tampereen teknillinen yliopisto,
rakennustekniikan laitos

Betonirakennuksia heikentävä korroosio voidaan havaita rakenteiden pinnoilta syntyneiden halkeamien perusteella, mutta korjaustoimiin varautuminen etukäteen on haastavaa. Korroosion etenemisen mallinnus auttaa tunnistamaan rakennukset ja rakenteet, joissa korjaus on ajankohtainen. Näin korjaukseen voidaan varautua jo ennen näkyvien vaurioiden syntyä.

Betonirakennusten kunto nykyhetkellä voidaan selvittää hyvin tarkasti aistinvaraisen tarkastuksen ja mittauksen avulla kuntotutkimuksissa. Korroosion riski sekä aika siihen, milloin vaurioita alkaa ilmaantua, on kuitenkin tyypillisesti arvioitu kokemuksen pohjalta. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksessa kehitetyllä mallinnustyökalulla korroosion alkua ja etenemistä voidaan ennustaa ja seurata tarkasti. Aktiivisen korroosion aikaa kannattaa mallintaa, jotta saadaan selville, ja voidaan täysin hyödyntää, rakenteiden jäljellä oleva käyttöikä. Tämä tarkoittaa käyttöikää oikean korjaustarpeen syntymiseen asti. Näin myös korjaukset voidaan ajoittaa parhaalla mahdollisella tavalla. Olemassa olevien betonirakenteiden korjaustarve ylittää nykyisellään selvästi käytettävissä olevat resurssit, joten on ilmeinen tarve luoda näille rakenteille korjausstrategia, eli asettaa rakenteet korjaustarpeen mukaan kiireellisyysjärjestykseen. Myös korjauksen taloudellisuuteen voidaan vaikuttaa, jos korjaukset voidaan ajoittaa ja mitoittaa oikein teknisen korjaustarpeen mukaan.

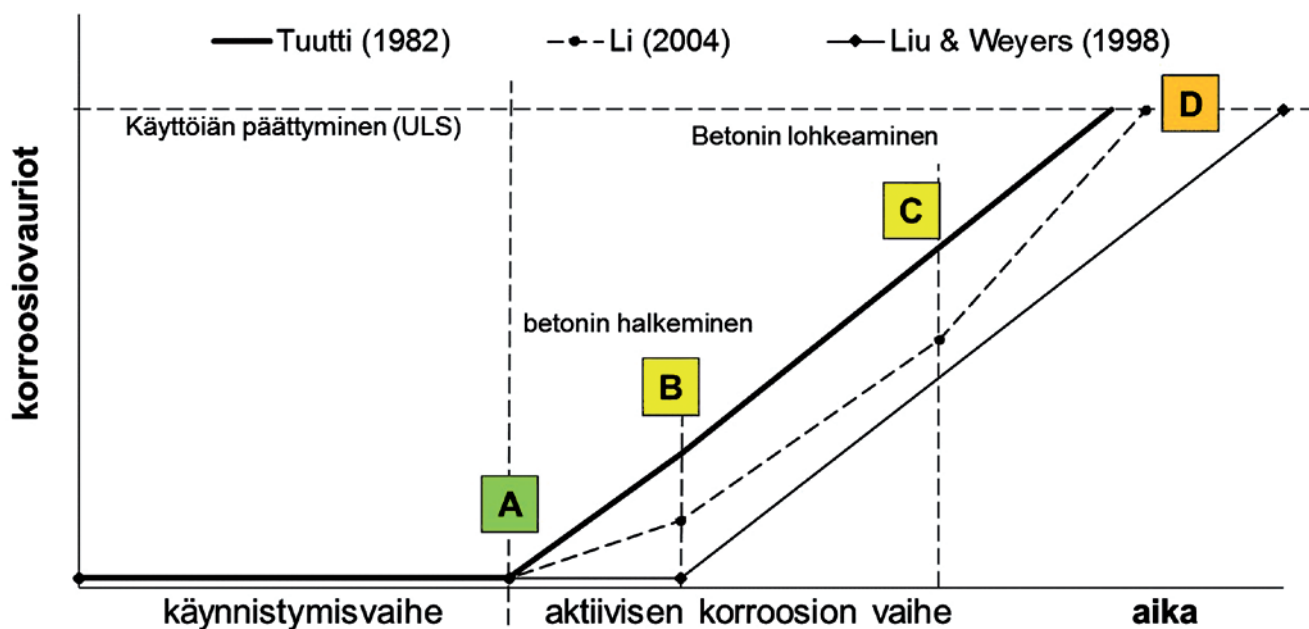
Betonielementtijulkisivujen ja -parvekkeiden käyttöikää näkyvän vaurion syntymiseen tarkasteltiin tilastollisen kuntotutkimusaineiston avulla. Tarkastelun perusteella näissä rakenteissa käynnistymisvaihe on käsittänyt rakenteesta riippuen 70 - 95 % koko käyttöiästä – eli suurimman osan. Betonin tarjoama suoja karbonatisoitumista ja korroosiota vastaan on näin edelleen keskeisin osa betonirakenteiden käyttöiän varmistamisessa. Tutkimuksessa

kehitetyllä tarkastelulla voidaan ajoittaa korjauksia sen jälkeen, kun karbonatisoituminen on saavuttanut teräkset, tai tarkastella virhetapauksien vaikutusta tavoiteltuun käyttöikään. Käytännössä puhutaan käyttöiän jatkamisesta tavanomaisesta käynnistymisvaiheen tarkastelusta käsittämään myös aktiivisen vaiheen osuutta (Kuva 1). Tilastollisesti, korroosion käynnistymisen jälkeen aktiivisen korroosion aika näkyvän vaurion syntyyn on vastaavasti käsittänyt käyttöiästä 5 - 30 %. Tämä on siis osuus, joka voidaan hyödyntää käyttöiän jatkoaikana, jos käyttöikä tarkastelua tarkennetaan.

Rakennuspaikan sääolosuhteet vaikuttavat korroosionopeuteen

Rakennusten julkisivujen eri osiin kohdistuu erilainen sääräsitä, joka riippuu muun muassa julkisivun ilmansuunnasta, rakenteen korkeus- asemasta ja yksityiskohdista. Tästä syystä myös rakenteiden säilyvyydessä ja vaurioitumisnopeudessa on suuria eroja. Esimerkiksi sateelta suojassa olevassa parvekelaatan alapinnassa vauriot kehittyvät huomattavasti hitaammin kuin etelään avautuvan julkisivun yläosissa (Taulukko 1). Sääolosuhteiden (ilman lämpötila, ilman RH, viistosade, auringon säteily) vaikutusta julkisivun korroosionopeuteen tutkittiin aikasarja-analyysin avulla, jossa yhdistettiin pitkäaikainen korroosiomittausdata säähavaintoaineistoon samasta sijainnista. Erityisesti viistosateen vaikutus näkyi tutkimusaineistossa selvästi. Tutkimuksen avulla voitiin johtaa korroosion nopeuksia julkisivujen

1 Betonirakenteen käyttöikä rautoitteiden korroosion osalta koostuu käynnistymisvaiheesta ja aktiivisen korroosion vaiheesta. Tarkastelu pyrkii jatkamaan käyttöikää pisteestä A pisteeseen B.



Taulukko 1 Korroosionopeus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) ja aktiivisen korroosioajan pituus [vuosina] näkyvän vaurion syntyhetkeen betonisissa julkisivurakenteissa eri maantieteellisillä sijainneilla.

	XC4				XC3
	Julkisivu pohjoiseen	Julkisivu etelään	Parvekepieli pohjoiseen	Parvekepieli etelään	Parvekelaatan alapinta
Helsinki-Vantaa (Etelä-Suomi, rannikko)	1.00[5.8]	1.83[3.2]	1.51[3.8]	2.98[2.0]	0.07[80]
Jokioinen (Etelä-Suomi, sisämaa)	0.97[6.0]	1.43[4.1]	1.46[4.0]	2.31[2.5]	0.06[100]
Jyväskylä (Keski-Suomi)	0.86[6.8]	1.07[5.4]	1.33[4.4]	1.74[3.3]	0.04[133]
Sodankylä (Pohjois-Suomi)	0.72[8.0]	0.81[7.2]	1.08[5.4]	1.26[4.6]	0.03[200]

betonirakenteissa maantieteellisestä sijainnista riippuen (Taulukko 1).

Tulosten perusteella aika näkyvän halkeaman syntyyn korroosion käynnistyttyä on verrattain lyhyt viistosateelle alttiissa julkisivuissa (< 10 vuotta). Aika voi kuitenkin olla myös huomattavan pitkä, jos viistosaderasitus on vähäinen tai puuttuu kokonaan. Tähän perustuu mahdollisuus mitoittaa säärasitustasoltaan erilaisten rakenteiden aktiivisen korroosion aikaa.

Käyttöiän päättymishetken määrittäminen

Nykyisin suuressa osassa olemassa olevia betonielementtijulkisivuja (20 - 57 %) nykynormin tuntema käyttöikä on jo päättynyt. Tämä tarkoittaa sitä, että rakenteen määritelty käyttöikä päättyy korroosion käynnistymishetkeen, eli hetkeen, jolloin betonin karbonatisoituminen saavuttaa teräkset (Kuva 1). Käyttöiän määrittelmä on tässä tapauksessa ongelmallinen, koska kyseisellä ajanhetkellä ei vielä ole tapahtunut rakenteessa minkäänlaista vaurioitumista korroosion seurauksena. Lisäksi, menetelmiä näiden olemassa olevien rakenteiden jäljellä olevan käyttöiän tarkasteluihin ei ole ollut.

TTY:n tutkimuksessa käyttöiän päättymishetki määriteltiin näkyvän korroosiovaurion syntymiseen rakenteen pinnalle. Määrittelmä on käytäntöön soveltuva, sillä vasta tässä vaiheessa rakenteessa syntyy tarve paikkauskorjaukselle. Tätä käyttöiän päättymishetkeä voidaan käyttää myös tarkasteltaessa rakenteen suojaamis- ja pinnoitustoimenpiteiden ajoitusta. Tutkimuksessa toteutettiin näytteenottoa betonijulkisivuissa näkyvien korroosiovaurioiden kohdilta, ja näytteistä selvitettiin kriittinen ruostemäärä, joka tarvitaan vaurioiden aiheuttamiseksi. Keskimäärin näkyvän vaurion aiheuttama ruostemäärä oli tutkimuksissa noin 200 μm , mutta myös hajonta rakennekoekappaleissa on suuri. Keskiarvon perusteella voidaan johtaa myös keskimääräinen halkeamaan tarvittava teräksen

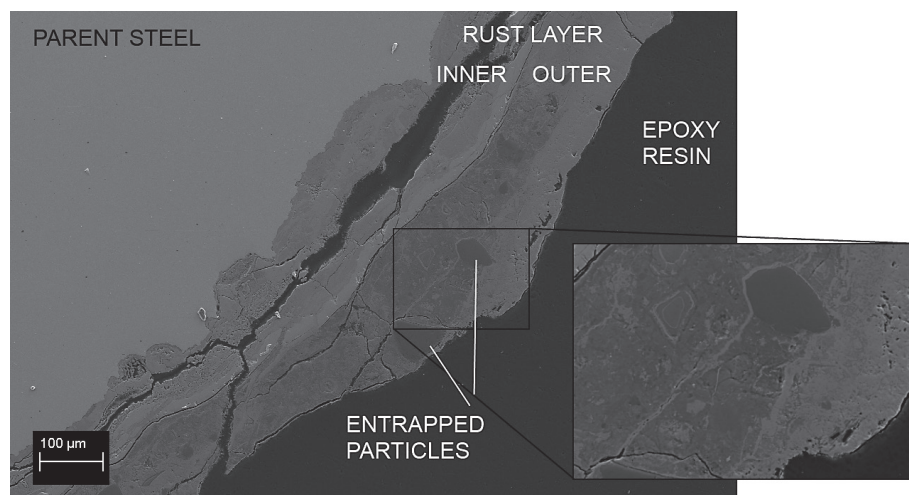
syöpymä noin 70 μm . Muunnos perustuu ruostetyypin määritykseen näytteistä. Käyttöikä päättyy hetkellä, jolloin halkeaman aiheuttamiseen tarvittava ruostemäärä on kertynyt raudoitteen pinnalle.

Tutkimushanke

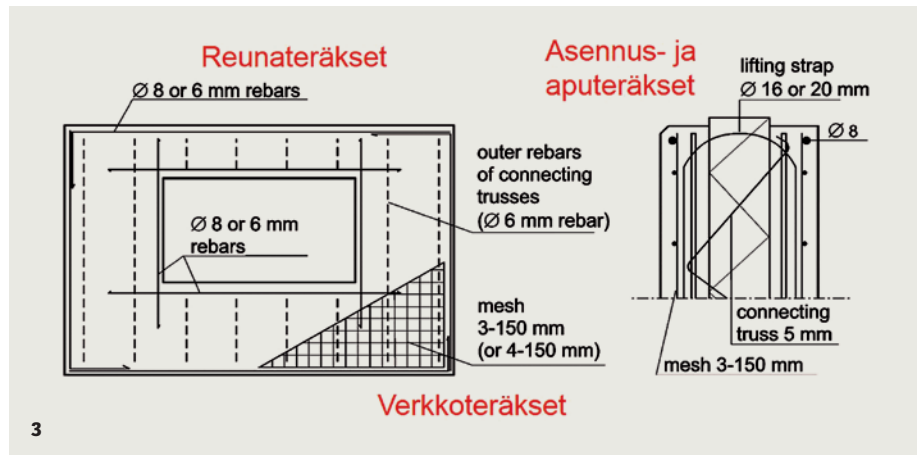
Etenemä-tutkimushanke toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksella väitöstutkimuksena vuosina 2012-2015. Hankkeessa tutkittiin betonijulkisivujen vaurioitumista raudoitteiden aktiivisen korroosion seurauksena sekä aikaa, joka tämän aktiivisen korroosion vaiheen osalta voidaan ottaa huomioon käyttöikä tarkastelussa. Tutkimus keskittyi käsittelemään betonielementtirakenteisia julkisivuja ja parvekkeita, jotka pääosin edustavat olemassa olevaa 1960- ja 1970-lukujen rakennuskantaa. Tutkimusaineistona hyödynnettiin sääälle alttiiden betonirakennusten laboratori-oanalyysijä, kuntotutkimuksista kerättyä tilastollista aineistoa sekä pitkäaikaista mittausdataa korroosionopeudesta. Tutkimus antaa suoraan tietoa korroosiovaiheen kestosta tyyppillisissä betonirakennuksissa. Tarkempi rakennuspai-

kan rasiustason huomioon ottava tarkastelu edellyttää, että käytettävissä on kuukausittaista säähavaintoaineistoa rakentamispäikalta. Tutkimushankkeen pohjalta syntynyt TkT Arto Köliön rakenteiden korjaus- ja elinkaaritekniikan alaan kuuluva väitöskirja *Propagation of Carbonation Induced Reinforcement Corrosion in Existing Concrete Facades Exposed to the Finnish Climate* ("Betonijulkisivujen korroosio-vaurioiden eteneminen ja mallinnus Suomen ilmastossa") tarkastettiin Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) talouden ja rakentamisen tiedekunnassa 16.9.2016. Tutkimushankkeen rahoittivat Suomen Akatemia ja Opetus- ja kulttuuriministeriö Rakennetun ympäristön tohtoriohjelman kautta.

2 Betonipintaan syntyvään halkeamaan tarvittava ruostemäärää tutkittiin ruostetyypin analyysin ja ruostekerroksen mikroskopian avulla.



- 3 Rakennusten julkisivujen eri osiin kohdistuu erilainen säärasitus.
- 4 Tutkimus keskittyi käsittelemään betonielement-tirakenteisia julkisivuja ja parvekkeita.

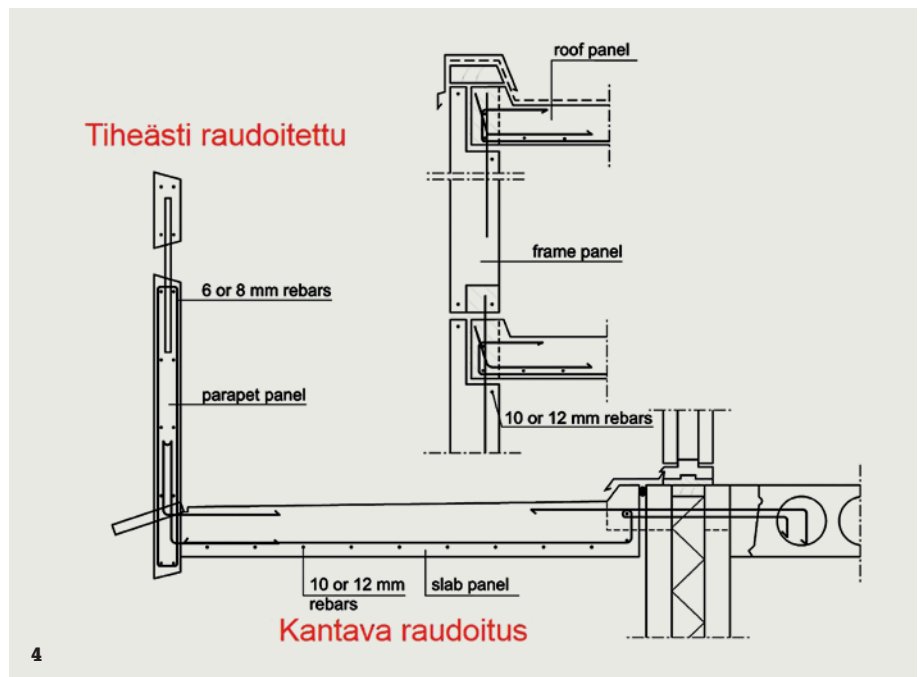


A service life model for the timing of concrete facade renovation

Reinforced concrete is present in the major part of the Finnish built environment. A vast number of concrete buildings utilizing newly developed prefabrication techniques were built from 1960 to 1979. Since then, the durability properties of the concrete building stock from this era have been found to be poor in regard to freeze-thaw action and the corrosion of the reinforcement. This building stock has now reached an age when many of the building components are due to be renovated. Because of the huge volume of this building stock, its renovation is also challenging in terms of resources.

In terms of the corrosion of the reinforcement, the service life of these concrete structures is composed of two phases. The initiation phase withholds the onset of favourable conditions for corrosion, while the second phase, the propagation phase, includes the corrosion process of the steel itself. The former is traditionally used as a measure of a building's service life, even though no damage has yet occurred at this stage. However, the service life of a building may be extended by utilising the propagation phase, which would aid in prioritising renovation projects for existing concrete structures once the initiation phase has already passed.

A research project conducted by the department of Civil Engineering at Tampere University of Technology focused on the propagation phase (active corrosion) as part of the service life of concrete facade panels in the Nordic climate. The objective of the research was to add to our knowledge of the corrosion propagation phase in such structures under actual long-term weather exposure, and to generate data for modelling the process. The study combined a statistical analysis of a large database of condition investigation data, a more in-depth analysis of twelve building case studies and data from field measurements of reinforcement corrosion.



Using regression analysis, long-term, time series weather data from the geographical locations of the buildings were compared with the actual corrosion rates.

The research project confirmed that the active corrosion phase can provide a considerable extension to the service life of concrete facade panels in a Nordic climate. Our statistical analyses show that the length of this period can be from a few to up to decades. A more in-depth analysis of the case-study buildings, however, showed that the general corrosion rate for XC4 exposure conditions can be regarded as high and service-life extension is, in practice, likely to be limited to below ten years. It has to be noted that the limit is based on the occurrence of visible corrosion damage on the structure surfaces. Even this is therefore not the ultimate end of service life for these structures. This figure may not appear to be very impressive, but this is for south-facing structures, subject to the most severe weather. In structures which, for a variety of reasons, are more sheltered from

wind-driven rain, the extension in service life can be considerably higher. This is especially true for sheltered structural surfaces, such as the soffit surfaces of the balcony slabs.

The ability to model or forecast corrosion rates on concrete facades will enhance the ability of property owners to react to their upcoming repair needs. This kind of model is able to predict the residual service life of a certain structure, but it could also be used in creating renovation strategies for larger ranges of building stock by revealing the order of importance or the urgency of individual renovation projects. Such a tool can thereby be used in moving towards more predictive strategies for the maintenance of real estate, giving landlords the confidence to make long-term contracts with renovation engineers and contractors.

A full description of the project and a doctoral dissertation "Propagation of Carbonation Induced Reinforcement Corrosion in Existing Concrete Facades Exposed to the Finnish Climate" can be viewed from www.tut.fi/servicelife.