

Karbonatisoitumisen mallin luotettavuus betonijulkisivujen ja -parvekkeiden käyttöiän arvioinnissa

Arto Kōliö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos

Petri Niemelä, Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy

Jukka Lahdensivu, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos

Raudoitteiden korroosiosuoja betonissa perustuu lähinnä betonin korkeaan alkalisuuteen sekä raudoitteiden päällä olevaan suojabetonin nipeitekerrokseen, joka antaa edellä mainitun kemiallisen suojan lisäksi myös suojaa mekaanisilta rasituksilta sekä erilaisilta haitallisilta aineilta. Betonirakenteiden käyttöikä tarkastelu perustuu ensisijaisesti betonin kemiallisen korroosiosuojauksen häviämiseen suojabetonin karbonatisoitumisen kautta.

Ajan neliöjuureen perustuvaa mallia käytetään yleisesti kuvaamaan suojabetonin karbonatisoitumisen kautta tapahtuvaa betonirauoituksen korroosion käynnistymisvaihetta, toisin sanoen korroosion käynnistymishetkeen perustuvaa käyttöikää. Malli perustuu Fickin lakeihin diffuusiosta, ja on näin perusteltavissa kuvaamaan hiilidioksidin tunkeutumista betoniin. Toisaalta, mallia on arvosteltu siitä, ettei se pysty kuvaamaan oikein kastumis-/kuivumis- sykliä altistuvien betonipintojen karbonatisoitumista. Useiden vuosien säärasitukselle altistuneiden betonijulkisivujen ja -parvekkeiden seurantatutkimuksista kävi ilmi, että neliöjuurimalli kuvastaa ilmiötä ja rakenteen käyttöikää hyvinkin käytännön käyttöikäsuunnitteluun riittävällä varmuudella. Jos tarkoituksena on käyttöiän ennustaminen, on näytteenotossa varmistettava tarkasteluun riittävä näytemäärä.

Yleinen malli on käytännön käyttöikäsuunnitteluun riittävä

Yleisesti käyttöikä tarkasteluissa käytetty neliöjuurimalli kuvastaa karbonatisoitumista

ja rakenteen käyttöiän ensimmäistä vaihetta, teräskorroosion käynnistymisvaihetta, riittävällä varmuudella. Mallin vertailua varten seurantatutkimuksista muodostettiin rakennetyypikohtaisesti kaksi tutkimusaineistoa: koko rakennuksen kattava aineisto sekä rinnakkaisaineisto, jossa jälkimmäisessä tutkimuksessa mittaukset tehtiin tarkoituksella aikaisemman tutkimuksen mittauspisteen läheisyydestä.

Arvioituna karbonatisoitumiskertoimen kautta, rinnakkaismittausten perusteella tehdyt ennustukset erosivat seurantamittausten karbonatisoitumissyvyyksistä huomattavasti (Kuva 1). Ero karbonatisoitumiskertoimissa oli suuri (-1,12–+1,87 mm/vuosi^{0,5} rakennetyypistä riippuen). Toisaalta, koko rakennusta koskevasta aineistosta tehdyssä tarkastelussa karbonatisoitumiskertoimien ero oli vain murto-osa tästä (-0,03–+0,02 mm/vuosi^{0,5} rakennetyypistä riippuen). Vertailu testattiin tilastollisesti Studentin T-testillä sekä p-arvoon perustuen, mikä kertoo tilastollisen päätelmän luotettavuudesta. Ensimmäisen tutkimuksen aikana tehdyn ennustuksen luotettavuus oli korkea jo, kun tutkittavien näytteiden määrä oli 26 tai enemmän. Tästä syystä on erityisen tärkeää varmistaa riittävä näytemäärä, kun karbonatisoitumisen tutkimuksiin perustuen ennustetaan rakenteen jäljellä olevaa käyttöikää. Tällä pyritään ottamaan huomioon mm. materiaaliominaisuuksien suuri hajonta toteutuneissa rakenteissa.

Erityisesti tutkimuksissa havaittiin, että neliöjuurimalli antaa hyvin tarkan arvion

arvioitaessa iältään yli 25 vuoden ikäisten rakennusten käyttöikää. Tämä johtuu siitä, että karbonatisoitumisen eteneminen on jo tähän mennessä tasaottunut. Tämän ajan jälkeen käyttöikä tarkasteluissa tarkemmalla mallilla saatava hyöty on käytännössä hyvin pieni.

Karbonatisoitumismallin rajoituksia

Lähtöoletus karbonatisoitumisen mallintamiselle neliöjuurimallin avulla on betonin tasalaatuisuus ja homogeenisuus, eli karbonatisoitumiseen vaikuttavat rakenteen ominaisuudet ovat samat koko rakenteessa. Käytännössä betonin ominaisuudet voivat kuitenkin vaihdella huomattavasti mm. suhteituksesta, sekoituksesta, tiivistyksestä, jälkihoidosta ja kosteusolosuhteista johtuen. Lisäksi rakenteen käyttöiän aikana ominaisuudet voivat muuttua esimerkiksi vaurioitumisen tai huokosrakenteen täytteisyyden kautta. Tästä syystä on selvää, että betonin todellinen karbonatisoituminen vain harvoin seuraa tarkasti esitettyä mallia. Elementin pintaa on tyypillisesti

1 Asunto Oy Rytynpyöli Forssassa. Julkisivut on kunnostettu. Talo voitti Julkisivukorjauskilpailun esimerkillisenä kohteena vuonna 2015.

2 Näkymä Hervannasta.

Rami Tervomaa



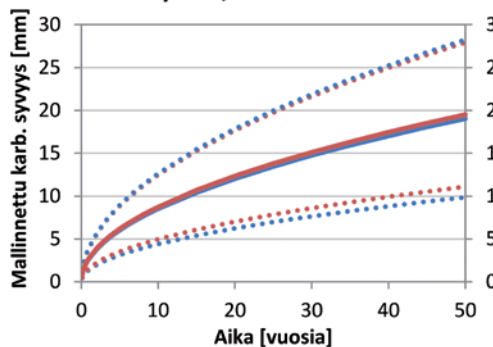
1

2

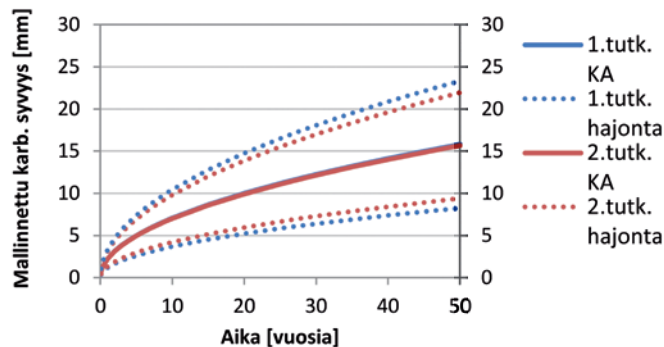


Jukka Lahdensivu

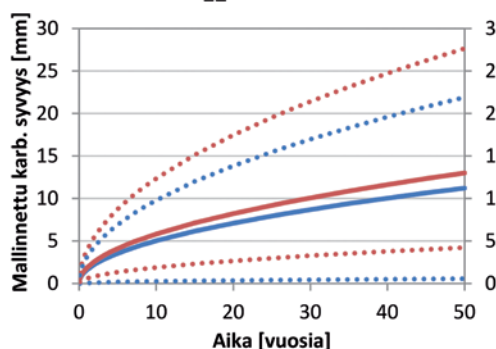
a) Harjattu maalattu betoni - rinnakkaisnäytteet, n = 26



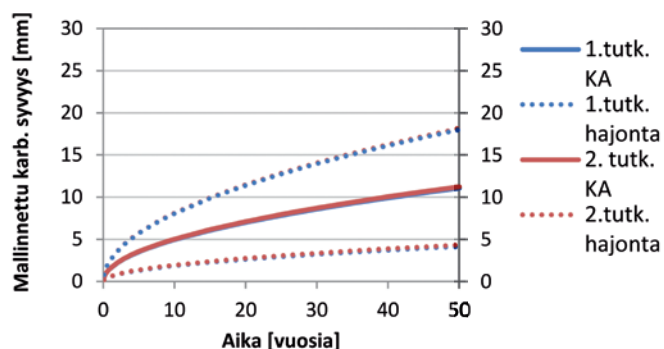
b) Harjattu maalattu betoni - koko aineisto, n = 168



c) Pesubetoni - rinnakkaisnäytteet, n = 12



d) Pesubetoni - koko aineisto, n = 115



2

käsitelty tuoreena valun jälkeen, esimerkiksi pesubetonissa, harjatussa betoninnassa, jne., jolloin betoni on usein tiiviimpää rakenteen sisällä, ja hydrataatio edennyt pidemmälle, karbonatisoituminen on tavallisesti hitaampaa rakenteen sisällä kuin pinnalla. Betonipeitteen hiilidioksidin diffuusiovastus kasvaa karbonatisoitumisvyöhykkeen edetessä. Lisäksi korkea kosteuspitoisuus betonin sisällä voi hidastaa karbonatisoitumista pintakerrokseen verrattuna.

Ajan neliöjuureen perustuvia karbonatisoitumisen malleja on esitetty useita. Mallissa hyödynnetään tavallisesti kerrointa, jolla riippuvuus muutetaan tiettyihin olosuhteisiin ja rakenteen ominaisuuksiin sopivaksi. Osa malleista hyödyntää tuoreen betonimassan ominaisuuksiin perustuvaa kerrointa ja osa rakenteen karbonatisoitumismittauksiin perustuvaa lukuarvoa. Lisäksi ympäristön vaikutusta on pyritty ottamaan huomioon pienentämällä ajan eksponenttia. Neliöjuurimallin on empiiristen tutkimusten avulla havaittu yliarvioivan karbonatisoitumisen etenemistä erityisesti verrattain nuorten rakenteiden osalta. Tästä syystä neliöjuurimallin tulos on tyypillisesti varmalla puolella oleva yläarvio.

Betonin karbonatisoitumisen merkitys käyttöiässä

Betonin karbonatisoituminen on kemiallinen reaktio, joka tapahtuu betonin huokosveteen liuenneiden hiilidioksidin ja betonin alkalisten

reaktiotuotteiden kesken. Karbonatisoitumisen keskeinen seuraus on betonin pH:n lasku lopulta tasolle, jolla raudotteiden kemiallinen korroosiosuoja häviää. Ympäristön vaikutus karbonatisoitumiseen on selvimmän nähtävissä verrattaessa parvekelaatan sateelta suojatun alapinnan ja esimerkiksi parvekepielien ulkopinnan karbonatisoitumista. Betoninormien rasitusluokissa parvekelaatan alapinta asetetaan luokkaan XC3 ja julkisivupinnat luokkaan XC4. Suunnittelussa on siis huomattava, että karbonatisoitumisen suhteen luokka XC3 on huomattavasti seuraavaa luokkaa XC4 riskialttiimpi. Jos käyttöikä tarkastelun aikajaksoa jatketaan käsittämään myös aktiivisen korroosion vaihetta, luokan XC4 olosuhteet suosivat nopeampaa raudotteiden korroosiota. Riippuen siis tarkastelujaksosta on kiinnitettävä erityistä huomiota eri rakenteisiin. Lopulta tavoiteltu käyttöikä ja käyttöiän päättymishetki määräävät miten eri rasitusluokkiin kuuluvia rakenteita tulisi käsitellä käyttöikämielessä, ja miten ne suhtautuvat toisiinsa.

Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksessa analysoitiin TTY:n rakennustekniikan laitoksen ja Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n yhteistyönä karbonatisoitumisen neliöjuurimallin toimivuutta karbonatisoitumisen seurantamittauksen avulla. Seurantamittauksen tuloksia verrattiin ensimmäisen tutkimuksen tulosten perusteella mallinnettuun käyttöikään. Aineisto koostui yhteensä 18

kerrostalokohteen kuntotutkimuksista, joissa peräkkäisten tutkimusten väli oli keskimäärin kahdeksan vuotta. Kohteet olivat keskimäärin peräkkäisten tutkimusten aikaan 27 ja 35 vuotta vanhoja. Tutkimukseen valittiin kohteet, joiden julkisivu- ja parvekerakenteille ei ole tehty kunnostustoimenpiteitä kuntotutkimusten välisenä aikana.

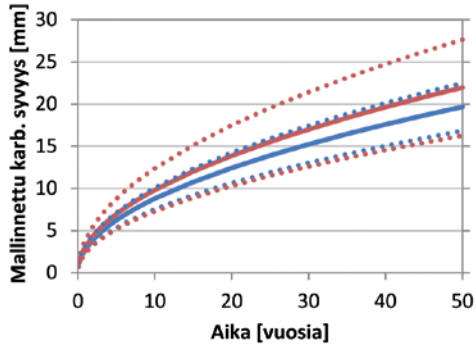
Karbonatisoitumissyvyys mitattiin tutkimusten yhteydessä porattujen betoninäytteiden pinnoilta pH-indikaattorilla (fenoliftaleiini) merkitsemällä näytekohtainen maksimi ja keskiarvo karbonatisoitumissyvyydelle.

Karbonatisoitumisen mallin luotettavuutta testattiin vertaamalla peräkkäisten tutkimusten perusteella määritettyä karbonatisoitumissyvyyttä rakenteen käyttöiän ajanhetkellä 50 vuotta. Täydellinen vastaavuus vaatisi näin, että ero tutkimuskertojen välillä sekä ennustetussa syvyydessä että karbonatisoitumiskertoimessa on nolla. Toisaalta näiden eroavaisuudet kertovat mallin sisältämästä virheestä ja sen suunnasta.

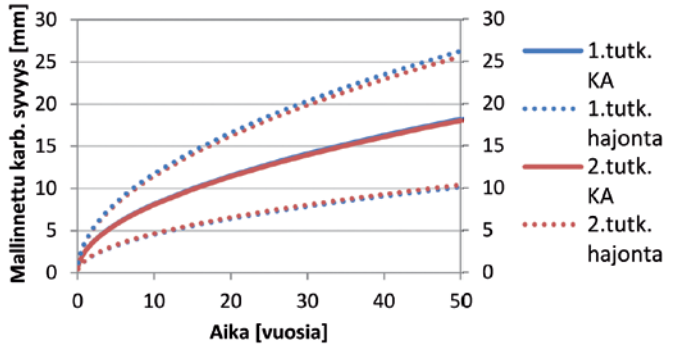
2-3 Neliöjuurimallin vastaavuus arvioituna peräkkäisten tutkimusten perusteella 50 vuoden käyttöiän aikana. Vertailu on toteutettu rinnakkaisnäytteistä ja koko rakennusta koskevasta aineistosta rakenteen pintatyypeittäin.

4 Betoninäytteen karbonatisoitumisrintama (korostettu tussilla) halkeaman kohdalla.

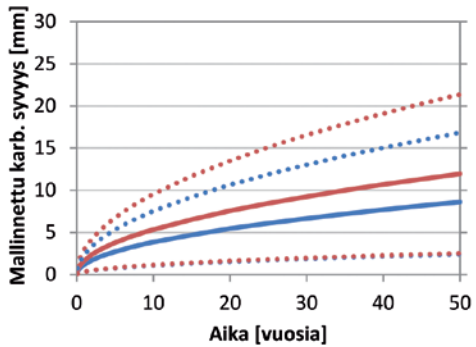
e) Parvekelaatan alapinta -
rinnakkaisnäytteet, n = 10



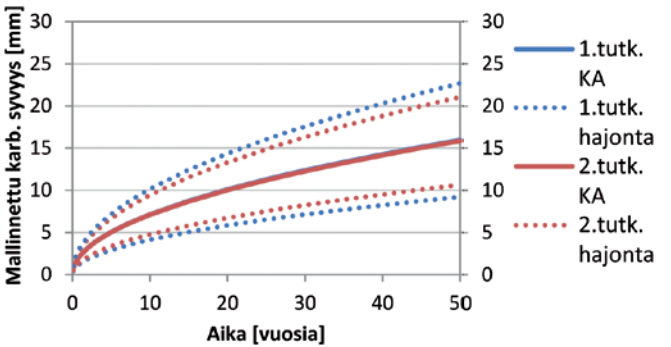
f) Parvekelaatan alapinta - koko aineisto
n = 86



g) Parvekkeen pieliseinä -
rinnakkaisnäytteet, n = 8



h) Parvekkeen pieliseinä - koko aineisto,
n = 110



3

Reliability of carbonation model in assessment of service life

The service life analyses of concrete structures mainly consider the loss of chemical corrosion protection due to the carbonation of the protective concrete cover.

A model based on the square root of time is commonly used to describe the corrosion initiation phase of concrete reinforcement, which starts through the carbonation of the protective concrete cover, i.e. the service life calculated from the starting time of corrosion. The model is based on Fick's laws of diffusion and can therefore be justifiably used to describe the penetration of carbon dioxide in concrete. On the other hand, the model has been criticised for not being able to correctly describe the carbonation of concrete surfaces exposed to wetting/drying cycles.

The Department of Civil Engineering at Tampere University of Technology has carried out in cooperation with Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy a study of the performance of the square root model of carbonation. Carbonation follow-up measurements were conducted on concrete facades and balconies after several years of exposure to weather and it was concluded that the square root model describes the phenomenon and the service life of the structures with adequate accuracy for purposes of practical service life planning. If the model is used to predict the service life, it must be ensured that an adequate number of samples is taken for the analysis.



4