

## Katsaus betonielementtirakentamiseen

Elementtirakentamisen kehittämisellä pyrittiin aikanaan taloudelliseen hyötyyn rakentamiskustannusten alentamisella, tuotantoa tehostamalla ja nopeutta lisäämällä. Sotien jälkeisen kaupungistumisen aiheuttama asuntopula loi tarvetta standardoida ja rationalisoida rakentamista. Myös rakentamisen kausiluontoisuuden poistaminen oli tavoitteena, millä seikalla oli niin ikään suuri taloudellinen merkitys. Sivutuotteena uskottiin voitavan parantaa myös rakentamisen laatua. Itse kunkin arvioitavaksi jää täytyikö viimeksi mainittu tavoite.

Elementtirakentaminen johti myös siihen, että rakennustoiminta ei enää keskittynyt pelkästään kesäkauteen, vaan taloja rakennettiin läpi vuoden ja työllisyys rakennusalalla oli tasaisempaa kuin aikaisemmin. Toisaalta rakennustyömailla työvoiman tarve väheni. Elementtiteollisuuden syntyä uusia työpaikkoja, mutta ei kuitenkaan yhtä paljon kuin mitä työmailta poistui.

Elementtirakentaminen vähensi olennaisesti pitkää kuivatusta vaativaa rappaustyötä ja myös muurareiden ja rappareiden tarvetta, mutta talvirakentamisen yleistyessä rakentajien "talvityöttömyys" loppui.

Elementtikerrostalojen yleisimpiä teknisiä virheitä betonirakenteissa olivat ulkoseinän heikkolaatuinen betoni, raudotteiden riittämättömät suojabetonipaksuudet ja mustan, helposti ruostuvan teräksen käyttö sellaisissakin rakenteissa, jotka ovat alttiina eri vauriotekijöille.

Ennen 1980-lukua ei betonin valmistuksessa, rakenteiden toteutuksessa ja suunnittelussa kiinnitetty tarpeeksi huomiota betonin säilyvyyden kannalta olennaisiin asioihin, kuten riittävään betonipeitteeseen terästen päällä ja pakkasenkestävyyteen. Toteutuneet betonipeitteet jäivät riittämättömiksi ja käytettiin huokoistamatonta betonia. Elementtien lämpökäsittelyn myötä ongelmat lisääntyivät ja työvirheiden vaikutus heikensi edelleen betonirakenteiden laatua.

Betoninormien kehitys 1950-luvulta eteenpäin seurasi betoniteknologian kehitystä. Voimakas betonin käytön lisääntyminen toi mukanaan tarpeen kehittää myös alan normistoa. Normien kehitystyö oli erityisen voimakasta 1960-luvulla, jolloin mm. elementtitekniikka kehittyi ja yleistyi ripeästi. Valtioneuvosto vahvisti uudet betoninormit tammikuussa 1965. Normien täydennykseksi julkaisivat alan järjestöt lisäselvityksiä. Betonin pakkasenkestävyyden tarve oli tosin käytännössä huomattu selvästi aikaisemmin kuin normeissa asiaan puututtiin. Ensimmäiset maininnat betonin pakkasenkestävyydestä olivat vuoden 1977 betoninormeissa, joissa mainittiin pakkasenkestävyyden olevan ensisijaisesti riippuvainen betonin huokosrakenteesta. Pakkaskestävyyttä koskevat ohjeet esitettiin normitasolla vasta niinkin myöhään kuin vuonna vuonna 1980, jolloin pakkasenkestävyys vaadittiin tietyissä olosuhteissa, kuten julkisivubetonissa, jonka tuli vuodesta 1980 alkaen olla pakkasenkestävää.

Myöhemmän kokemuksen ja tutkimuksen valossa näyttää tosin siltä, että normin vaatimuksia ei läheskään aina ole saavutettu joko siksi, että pakkasenkestävän betonin valmistamista ei ole hallittu tai siksi, että asiasta ei ole normeistakaan huolimatta aina

välitetty. Ulkobetonirakenteiden vaurioituminen on tullut ikään kuin yllätyksenä, kun 1960-1980 -luvuilla rakennettujen kerrostalojen kuntoa on ryhdytty tarkemmin tutkimaan. Vasta myöhemmin kokemuksen ja tutkimusmateriaalin lisääntyessä on alettu syvällisemmin ymmärtää vaurioitumisen syitä ja seurauksia. Aikaisempi ajattelu, että teräsbetoni on "ikuista" on osoittautunut perin juurin vääräksi.

## Betonin vaurioitumismekanismeista

Yleisimmät betonirakenteissa esiintyvät vauriot aiheutuvat betonin pakkasrapautumisesta tai raudoituksen korroosiosta. Pakkasrapautuminen on seurausta betonin puutteellisesta pakkasenkestävyydestä eli betonin kyvystä märkänä kestää toistuvaa jäätymistä ja sulamista. Raudoituksen korrosio voi käynnistyä karbonatisoitumisen tai betonin sisältämien kloridien vaikutuksesta, mutta vain jos betoni on riittävän kosteata. Korrosiovauriot ovat seuraus riittämättömästä betonipeitteestä, betonin liian nopeasta karbonatisoitumisesta, sulatussuolojen pääsystä rakenteisiin, hallitsemattomasta veden poistumisesta ja betonin halkeilusta. Betonin säilyvyyttä ovat myös heikentäneet sopimattomat maalausjärjestelmät ja niihin liittyvät esikäsittelyvirheet.

Betonirakenteen kastumistavoista voidaan mainita, että betonin huokosverkostoon voi päästä vettä esimerkiksi viistosateen ja sulavan lumen vaikutuksesta. Talvikautena rakenteet kuivuvat hitaasti, mihin ovat syynä alhainen lämpötila, korkea ilman suhteellinen kosteus ja vähäinen auringon säteily. Lämpötilan aleneminen jäätympisteeseen alapuolelle voi tapahtua nopeasti. Liuenneet suolat alentavat jäätympistettä ja vesi jäätyy aina ensin suurimmissa huokosissa. Kaikkein pienimmissä huokosissa jäätyminen tapahtuu vasta -30 pakkasasteen paikkeilla.

Pakkasrapautuminen on alkuun päästyään alati kiihtyvä prosessi. Pakkasrapautumisen alkusyynä on yleensä betonin puutteellinen tai puuttuva suojahuokoistus. Betonin ollessa pakkasenkestävää sen sisällä on sopivan kokoisia huokosia, joihin betonissa oleva vesi pääsee tiivistymään ja joissa se voi jäätyessään turvallisesti laajentua rikkomatta betonin sisäistä rakennetta. Suojahuokoituksen puuttuessa ja betonin sisälle päässeen veden jäätyessään laajentuessa betonin sisäinen rakenne murtuu, lujuus heikkenee ja betonin pintaan muodostuu rakoja, murtumia ja säröilyä. Raoista betoniin pääsee lisää vettä, joka jäätyy betonin sisällä murtaen sen sisäistä rakennetta edelleen. Vapaa vesi laajenee jäätyessään noin 9 tilavuusprosenttia. Teräkset kastuvat ja voivat alkaa ruostua. Raoista vapaasti betonin sisään pääsevät happi kiihdyttää käyntiin lähtenyttä ruostumista, jossa happi on tärkeä osatekijä. Ruostuessaan teräkset paisuvat voimakkaasti, jopa kaksinkertaisiksi alkuperäiseen nähden, ja murtavat betonia sisältäpäin entisestään. Betonirakenne voi täten pakkasrapautumisen seurauksena vaurioitua lyhyessä ajassa pahoin, ellei sitä korjata. Etelä-Suomen ilmastossa, jossa pitkät pakkaskaudet ovat harvinaisia ja pakkas- ja suojakelit vuorottelevat, betonirakenne jäätyy ja sulaa vuorotellen talven mittaan arviolta 20-40 kertaa.

Rapautumisen havaitseminen paljaalla silmällä voi olla vaikeata, sillä rapautuminen näkyy ulospäin vasta pitkälle edettyään. Vaurioiden toteamiseksi tarvitaan täten näytepaloista tehtyjä laboratoriotutkimuksia.

Betonin pakkasenkestävyyttä voi määritellä seuraavasti: "Jotta huokosveden jäätymlaajeneman aiheuttama hydraulinen paine ei voisi synnyttää betoniin murtumia, on betonissa oltava ilmatiloja, jotka eivät täyty vedellä kapillaarivoimien vaikutuksesta ja joihin laajaneva vesi voi tunkeutua". Näiden ilmahuokosten välimatkan on oltava "riittävän pieni, huokosia on oltava tasaisesti jakautuneena sementtikivessä ja ne eivät saa muodostaa verkostoa" eli olla yhteydessä toisiinsa.

Erityisesti on huomattava, että huokosten syntymiseen betonin sisälle voidaan vaikuttaa betonin valmistustekniikalla, mutta niitä ei voida aikaansaada valmiiseen betoniin enää jälkikäteen.

Betoniin syntyy halkeamia myös muista syistä. Betoni halkeaa, kun rakenteen vetojännitys ylittää sen vetolujuuden. Vetojännityksiä aiheutuu myös esimerkiksi painumista ja plastisista kutistumista, joita syntyy veden poistuessa tuoreesta betonista liian nopeasti uuden betonin kuivuessa. Muita syitä voivat olla esimerkiksi kovettuneen betonin kuivumiskutistuma, rakenteen ulkoinen kuormitus, tukien siirtymät tai lämpötilan muutokset. Betonin murtovenymä on vain noin 0,15 promillea. Halkeamat heikentävät betonin säilyvyyttä, koska halkeamassa karbonatisoituminen etenee syvälle betoniin ja kosteuden sekä hapen kulku on esteetöntä. Korroosioriski ja pakkasrapautuminen ovat täten uudempia kuin ehjässä betonissa.

Karbonatisoitumisella tarkoitetaan betonin neutraloitumista. Uusi betoni on voimakkaasti alkalista eli emäksistä (PH noin 13). Alkalisuus muodostaa teräksen pinnalle ohuen oksidikalvon, joka passivoi betonin sisällä olevat teräkset ja suojaa niitä ruostumiselta. Ajan myötä betonin alkalisuus vähenee eli betoni neutraloituu. Kun alkalisuus ei enää suojaa teräksiä ruostumiselta, voivat ne alkaa ruostua. Ruostumiseen tarvitaan kuitenkin lisäksi riittävästi kosteutta, happea ja sopiva lämpötila, minkä vuoksi betonirakenteen suojaaminen ulkosalla on olennaisen tärkeää.

Karbonatisoituminen ei ole varsinaisesti vaurio, vaan se on betonin ominaisuus. Myös sisätiloissa oleva betoni karbonisoituu, mutta koska sisällä oleva betonirakenne yleensä on kuivassa, ei sen sisällä olevassa teräksessä tapahdu korroosiota. Karbonatisoitumista on silti pidettävä vauriona ainakin silloin, kun ulkorakenteen huonon hoidon tai huonon rakentamisen vuoksi karbonatisoitumisvauhti on ollut huomattavasti nopeampaa kuin mitä se olisi ollut ehjässä betonissa.

Uusi betoni sinänsä itse suojaa teräksiä alkalisuudellaan, eikä korroosiota esiinny uudessa ja ehjässä betonissa. Ajan myötä kuitenkin karbonatisoituminen alkaa ilman hiilidioksidin reagoitessa kemiallisesti betonin huokosveden liunneen kalsiumhydroksidin kanssa ja betonin alkalisuus alkaa laskea.

Merkittävä edistysaskel betonitekniikan kehityksessä olisikin karbonisoitumattoman betonin valmistusmenetelmän kehittäminen, missä ei tietävästi ole vielä onnistuttu. Menetelmän keksijällä olisi epäilemättä edessään taloudellisesti huoleton tulevaisuus.

Sen sijaan uudelleenalkalisoinnimenetelmiä on kehitetty. Yleisimmin käytetään menetelmää, jossa korjattu betoni ylittetasoitetaan tiiviillä laastilla, joka estää veden, haitallisten aineiden ja hapen tunkeutumista betoniin hidastaen näin karbonatisoitumiskehitystä. Muita menetelmiä ovat katodinen suojaus, sähköinen uudelleenalkalisointi ja sähkökemiallinen suolanpoisto, mutta nämä menetelmät edellyttävät erityisosaamista eivätkä sovellu muutenkaan käytännön perusparannuskohteisiin.

Teräksen passiivisuus voidaan menettää ja siten korroosio voi alkaa pääasiassa kahden tekijän vaikutuksesta, jotka ovat betonin karbonatisoituminen ja kloridien tunkeutuminen terästä ympäröivään betoniin. Karbonatisoituminen alkaa betonin pinnasta ja etenee vähitellen syvemmälle. Sen etenemisnopeus riippuu pääasiassa kolmesta tekijästä, jotka ovat betonin diffuusiovastus hiilidioksidin tunkeutumisesta vastaan, ympäröivän ilman hiilidioksidipitoisuus ja karbonatisoituvan aineen määrä. Toisen määritelmän mukaan se riippuu erityisesti betonin tiivyydestä ja sementtimäärästä sekä saderasituksesta.

Betonin huokosrakenne ja kosteuspitoisuus vaikuttavat siihen, miten nopeasti hiilidioksidi tunkeutuu betoniin. Paikallisesti myös halkeamat helpottavat veden tunkeutumista betonin sisään. Karbonatisoitumisnopeutta hidastavia rakenteellisia tekijöitä voivat olla lähinnä

rakenteen pintakäsittely ja pintatarvikkeet, jotka voivat estää diffuusiota betoniin. Esimerkiksi keraamisten laattojen käyttäminen julkisivupinnan päällysteenä hidastaa tutkimusten mukaan karbonatisoitumisprosessia merkittävästi. Lisäksi klinkkeripintaisten elementtiseinien eristetyden tuulettavuus vaikuttaa huomattavasti betonin kestävyteen.

Väärin valituilla pinnoitemateriaaleilla voidaan nopeuttaa karbonatisoitumista. Liian tiivis maalikalvo menettää pian joustavuutensa ja siihen syntyy hiushalkeamia, joista vesi pääsee (rapattuun) seinärakenteeseen. Pinnoitteen pitäisi päästää kosteus haihtumaan ulos, mutta samalla estää mahdollisimman hyvin ulkopuolelta tulevan veden pääsyn rakenteen sisään.

Raudoitusten korroosiolla tarkoitetaan betoniterästen ruostumista. Varsinkin vanhemmissa taloissa on voitu käyttää ns .mustaa rautaa betoniteräksissä, jolloin ne ruostuvat helposti. Korroosion alkuvaiheeksi eli passiiviseksi korroosioksi kutsutaan sitä aikaa, jonka kuluessa betonin suojauskyky menetetään. Alkuvaiheen pituus riippuu lähinnä ympäristöolosuhteista, betonin laadusta ja suojabetonin paksuudesta. Aktiiviseksi korroosioksi sanotaan aikaa korroosion alkamishetkestä siihen, kun rakenteen kelpoisuus on menetetty tai korjaus on aloitettava.

Korroosion kannalta haitallisia aineita ovat hiilidioksidi, kloridit ja vesi. Lisäksi korroosion syntymiseksi tarvitaan luonnollisesti ruostuvaa ainetta. Korroosion kannalta pahimmaksi suhteellisen kosteuden arvoksi on arvioitu 85 %. Tässä kosteudessa korroosiota esiintyy eniten.

Betonirakenteiden vaurioituminen osoittaa, että raudoitteiden korroosiosuojaukseen ei ole kiinnitetty riittävä huomiota. Erityisesti betonipeitteen suojapaksuudet ovat olleet liian pieniä. Myös viranomaismääräykset, -normit ja -ohjeet ovat suhtautuneet ylimalkaisesti betonin kestävyteen vaikuttaviin tekijöihin. Sittemmin normistoa onkin mm. tältä osin kehitetty.

Tiedän erään käytännön tapauksen Etelä-Suomessa, jossa havaittiin, että kerrostalon ulkoseinäelementissä olivat suunnilleen kaikki betoniteräksiset "kadonneet" ja jäljelle oli jäänyt terästen paikalle vain ruskeat raidat. Syynä oli ilmeisesti se, että elementtitehdas oli käyttänyt betonin kuivumisen nopeuttamiseksi klorideja, jotka puolestaan olivat ruostuttaneet teräksiset. Elementtien lujuuden ja koossa pysymisen kannalta teräksillä on tietenkin aivan ratkaiseva merkitys.

Yleensä ottaen voitaneen kuitenkin sanoa, että pahat betonivauriot syntyvät useamman eri vauriotekijän yhteisvaikutuksesta.

Vaurioituneet julkisivut ja parvekkeet ovat tyypillisiä korjattavia betonirakenteita. Muita tyypillisiä ulkona olevia korjattavia rakenteita ovat esimerkiksi tukimuurit, betonikaiteet, portaat tai siltarakenteet. Sisätiloissa olevien betonirakenteiden korjaustarve sen sijaan johtuu harvoin materiaalien säilyvyysongelmista, elleivät ne ole erityisen rasituksen kohteena.

#### Julkisivujen tyypillisimpiä vaurioita

- puutteellisen betonipeitteen aiheuttama raudoituksen korroosio ulkokuoressa
- pakkasrapautuminen elementtien ulkokuoren taustapinnoilla
- nurkkien ja kulmien lohkeilu korroosion ja rapautumisen seurauksena
- ulkokuoren kiinnityksiin liittyvät vauriot, esim. ruostuvat ansaiden diagonaalit
- elementtisaumojen vaurioituminen ja siitä aiheutuvat muut vauriot

- puutteellisista ovi-, ikkuna- ym. detaljeista johtuva vaurioituminen
- lämpö- ja kosteusliikkeiden ja muiden rasitusten aiheuttama halkeilu ja elementtien kaareutuminen

#### Parvekkeiden tyypillisimpiä vaurioita

- raudoituksen vauriot, erityisesti ulokeparvekkeiden tapauksessa
- pakkasrapautuminen
- pintalaatan pakkasrapautumat
- vedeneristysten vuotaminen
- erilaisten parvekepinnoitteiden tai -laatoitusten irtoaminen
- kaiderakenteiden ja niiden liitoskohtien korrosio
- kaiteiden ja laattojen lämpöliikkeistä aiheutuvat pakkovoimat ja niiden aiheuttamat vauriot
- saumaraudoituksen ja liitosten raudoituksen korrosio.

#### Betonirakenteiden kuntotutkimuksesta

Oikeiden korjausmenetelmien valitseminen on vaikeata, ellei tiedetä vaurioiden aiheuttajaa ja piileviä mekanismeja. Jotta korjaus ei perustuisi arvailuihin, on syytä teettää kunnollinen ja riittävästi näytteitä ja laboratoriotutkimuksia sisältävä kuntotutkimus, joka on pohjana korjaussuunnittelulle.

Betonitutkimuslaboratorio tarvitsee käytännössä jopa satoja neliöitä lämpimiä työtiloja, sekä teollisuus- että laboratorio- ja toimistotiloja. Tutkimuksissa tarvitaan monipuolisia koneita ja laitteistoja, joilla on huomattavat hankinta- ja käyttökustannukset. Tutkimushenkilökunnalla on oltava alalta perusteellinen koulutus ja kokemus. Tämän vuoksi pätevät tutkimukset ovat valitettavasti varsin kalliita, eikä luotettavia tutkimuksia voida tehdä halvalla "autotallin nurkassa". Alalla toimivia nopeiksi ja halvoiksi itseään mainostaviin yrityksiin on syytä suhtautua kriittisesti.

Olen itse käynyt tutustumassa pariin betonitutkimuslaboratorioon ja seurannut siellä tehtäviä tutkimuksia. Käytettävissä on ainetta rikkomattomia, rakenteen pinnalta tehtäviä mittaamenetelmiä, kuten peitepaksuus- ja potentiaalimittaukset sekä ainetta rikkovia menetelmiä, kuten laboratoriotutkimusten edellyttämä näytteenotto ja rakenteiden avaukset. Näytteitä on otettava riittävän monta ja riittävän monesta paikasta. Ainetta rikkomattomilla menetelmillä voidaan nopeasti käsitellä suuria pintoja ja saada mittaustuloksilla kattava kuva kohteesta. Haittana ovat kuitenkin näiden menetelmien virhelähteet ja tulosten tulkinnanvaraisuus.

Betoninäytteet voidaan porata korkeammista paikoista nostokoriautosta tai myös telineiltä käsin, jos sellaisia on käytettävissä. Näytteenoton jälkeen porausreikä paikataan tarkoitukseen soveltuvalla laastilla.

Betonin kuntotutkimuksessa käytettäviä menetelmiä:

- karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen
- kloridipitoisuuden määrittäminen
- vetolujuuden määrittäminen
- lujuuden testaus kimmovasaralla
- pintahietutkimus
- ohuthietutkimus
- sulfaattipitoisuuden määrittäminen
- peitepaksuusmittaus
- potentiaalimittaus
- rakenteen kosteustilan mittaus.

Kuntotutkimuksella ei aina ole mahdollista eikä taloudellisesti perusteltua tutkia kaikkia pintoja, mutta sen tulee olla niin kattava, että saadaan riittävän hyvä kokonaiskuva ja voidaan valita oikeat korjausmenetelmät. Lopullisesti korjattavien kohtien määrä selviää vasta työvaiheessa, jolloin ne on helpompi havaita kun pinnat on puhdistettu ja rakenteita avattu.

Isännöitsijätoimisto Marttila

