

Betonin palovaurioiden tutkiminen

Mika Oikari, Pekka Räisänen, Toni Mäki

Vahanen Rakennusfysiikka Oy
mika.oikari@vahanen.com

Suomessa tapahtuu vuosittain yli 5000 rakennuspaloa. Merkittävässä osassa tulipaloissa vaurioituvista rakennuksista on käytetty betonia keskeisenä osana kantavaa runkoa.

Betonirakenteisiin syntyy tulipalossa erilaisia vaurioita ja niiden laajuuden ja merkityksen tutkimisella on suuri vaikutus palovaurioiden korjauskustannusten määräytymisessä. Luotettavaa tutkimustietoa vaurioista tarvitsevat niin vakuutusyhtiöt, korjaussuunnittelijat kuin viranomaisetkin.

Heti palon jälkeen

Palovaurioituneen rakennuksen betonirakenteiden tutkiminen käynnistyy yleensä kiinteistönomistajan, rakennuttajan tai vakuutusyhtiön yhteydenotolla. Tutkimuksen laadun kannalta olisi tärkeää, että ensimmäinen yhteydenotto tulisi mahdollisimman varhaisessa vaiheessa palon jälkeen. Tällöin on mahdollista aistinvaraisesti havainnoida keskeisiä tulipalon kestosta ja lämpötiloista kertovia seikkoja suoraan palopaikalta ennen kuin palopaikan raivaus ja siivous käynnistyvät.

Tulipalon voimakkuuden ja vaikutusten arvioimiseksi havainnoidaan rakenteiden näkyvien vaurioiden ja muodonmuutosten lisäksi kaikkien korkealle lämpötilalle altistuneiden rakenteiden vaurioita ja muita näkyviä muutoksia. Puun hiiltyminen, muoviosien sulaminen ja palaminen, noen palaminen betonipinnoilta, alumiinirakenteiden sulaminen, teräsosien ja ikkunalasien muodonmuutokset ym. tavantomaiset korkean lämpötilan vaikutukset kertovat tutkijalle paljon palossa vallinneista olosuhteista. Nämä havainnot auttavat laatimaan ensivaiheen arviota siitä, mitkä rakenteet ovat voineet altistua sellaisille lämpötiloille,

että merkittävä vaurioituminen on edes ollut mahdollista.

Yleensä pystytään tässä vaiheessa myös rajaamaan tutkimuksen ulkopuolelle ne alueet ja rakenteet, joiden vauriot ovat niin vakavia, että rakenteet tullaan uusimaan kokonaisuudessaan joka tapauksessa. Varhaisen vaiheen kohdekäynnillä voidaan siten välttää suuri määrä turhia tutkimuksia.

Tärkeää tietoa palotapahtumasta ja sammutustyöstä voidaan saada myös viranomaisten tai käyttäjän laatimista tapahtumaraporteista.

Rakeneratkaisuihin tutustuminen ja tutkimussuunnitelma

Tutkijan ja korjaussuunnittelijan on jo ennen ensimmäistä kohdekäyntiä syytä perehtyä rakennuksen keskeisiin rakeneratkaisuihin ja rakenteiden toimintaan. Erityisesti kantavien rakenteiden toiminta, liitosten toteutus ja jännitettyjen rakenteiden olemassaolo täytyy selvittää huolellisesti. Näiden tietojen ja ensikäynnin havaintojen pohjalta laaditaan yksityiskohtaisempi tutkimussuunnitelma eli arvioidaan, minkä rakenteiden kunnan selvittäminen on tarpeen ja mitä lisätutkimuksia täytyy toteuttaa.

Huolellisesta ennakkosuunnittelusta huolimatta näytteenottoa ja kenttätutkimuksia pystytään kuitenkin vain harvoin toteuttamaan täsmälleen niin kuin on ennalta ajateltu. Laajoja kokonaisuuksia, kuten teollisuuskiinteistöjä, tutkittaessa tutkimustarpeet täsmentyvät ja muuttuvat joskus hyvinkin radikaalisti tutki-

1 Kuvassa Turun Pansiossa maaliskuussa 2014 syttynyt tulipalo. Uusien ja peruskorjattavien kerrostaloasuntojen palo-oviin vaaditaan nykyisin suljinlaitteisto.

2 Uusista ja peruskorjattavista rakennuksista pitäisi myös voida poistua omatoimisesti varatien kautta. Kuvissa oleva Turun kohde toimii kuvituskuvana, eikä liity varsinaisesti artikkelin ohjeistukseen.



1

Lehtikuva



2



3, 4 Havainnot muista rakennusmateriaaleista auttavat palossa vaurioituneiden lämpötilojen ja sitä kautta betonin vaurioitumisriskin arvioinnissa.



musten edessä. Kohteesta otetaan näytteitä ja sitä tutkitaan monessa eri erässä ja useilla käynneillä. Onkin tärkeää, että palovaurio-kohteen tutkimukset paikan päällä tekevä työryhmä pystyy tarvittaessa sopeuttamaan tutkimusohjelmaa tehtyjen havaintojen pohjalta ja kohdistamaan tutkimukset riittävissä laajuudessa korjaussuunnittelun kannalta kriittisiin kohtiin. Yhteistyö eri osapuolten välillä on erittäin tärkeää. Korjaussuunnittelijan tulee tietää, mikä on rakennuksen omistajan ja käyttäjän korjaustavoite, esimerkiksi onko heillä tarvetta muuttaa rakennuksen käyttötarkoitusta. Vastaavasti tutkimuksia tekevän työryhmän on tiedettävä, mitä lähtötietoja korjaussuunnittelija tarvitsee työssään.

Rakennuksen käyttäjän rooli tutkimusten suunnittelussa on keskeinen. Rakennuksessa tapahtunut toiminta joko ennen tulipaloa tai sen aikana on voinut vaikuttaa rakenteiden vaurioitumiseen. Sillä voi olla vaikutusta myös tutkimusvaiheen työturvallisuuteen, esimerkkinä erilaisten kemikaalien imeytymisen rakenteisiin tai mahdollinen leviäminen hallitsemattomasti paloalueelle.

Palovaurioiden selvittämisen yhteydessä on tärkeää erottaa mahdolliset jo aiemmin syntyneet betonin vauriot tulipalon aiheuttamista. Myös aiemman käytön aiheuttamat säilyvyysriskit on erotettava tulipalon vaikutuksista. Esimerkiksi betonin kohonnut kloridipitoisuus voi olla seurausta tilojen aiemmasta käytöstä tai vasta tulipalosta. Kloridirasituksen lähde voidaan selvittää mm. käyttäjältä saatavien toimintatietojen avulla sekä selvittämällä, mitä erilaisia materiaaleja tulipalossa on palanut.

Rakenteiden kuntoa ja korjattavuutta arvioidessa täytyy erottaa, mitkä vauriot rakenteissa ovat tulipalon seurausta ja mitkä ovat mahdollisesti syntyneet jo aiemmin käytön ja ikääntymisen seurauksena. Osa betonin vaurioista on saattanut syntyä vasta palon loppuvaiheessa sammutustöiden seurauksena. Tällaisia vaurioita voivat olla esimerkiksi raivaustöissä

5 Tulipalossa vaurioitunut TT-laatan ripa. Betoni on lohjennut rivan alareunasta paljastaen jännepunokset.

syntyneiden mekaanisten iskujen aiheuttamat lohkeamat ja sammutusveden jäädytysvaihutuksen aiheuttama halkeilu. Tulipalon jälkeen suojaamattomana olevat rakenteet voivat joskus vaurioitua varsin nopeastikin esimerkiksi jäätyessään märkänä. Varhaisessa vaiheessa tehtävän ensikäynnin yhteydessä onkin syytä arvioida betonirakenteiden väliaikaisen suojauksen tarvetta osana jälkivahingontorjuntaa.

Betonirakenteiden tutkiminen

Tulipalossa vallitseva korkea lämpötila aiheuttaa betonirakenteisiin monenlaisia vaurioita, joita voidaan tutkia erilaisilla tavoilla. Aistinvaraisesti havainnoidaan mm. betonin värinmuutoksia, pintavaurioita ja halkeamia. Värin muuttuminen kertoo lämpötilasta, jossa betoni on tulipalossa lämmennyt. Värimuutos on usein selkeästi nähtävissä, kun betonipinnat on puhdistettu hiomalla, soodapuhalluksella tai muulla vastaavalla mekaanisella menetelmällä.

Pinnan säröily, halkeilu ja erikokoiset lohkeamat ovat tyypillisimpiä silmämääräisesti havaittavia betonivaurioita. Aistinvaraiseen havainnointiin sisältyy myös betonipintojen kattava koputtelu vasaran avulla. Koputtelemalla voidaan kartoittaa alueet, joissa betonin pinta on selvästi pehmentynyt. Pelkästään aistinvaraisesti vaurioitumisen syvyyttä ei kuitenkaan voida luotettavasti tietää. Lisäksi tarvitaan poranäytteistä tehtäviä laboratorioututkimuksia.

Betonirakenteiden laboratoriotutkimukset tehdään yleensä rakenteista timanttiporaamalla irrotetuista näytelieriöistä valmistetuille näytteille. Kohteesta porattavien näytelieriöiden koko vaihtelee tutkittavan rakenteen ja tehtävien analyysien perusteella yleensä välillä 20-100 mm. Osa näytteistä voidaan ottaa myös jauhemaisina tavallisella iskuporakoneella.

Näytteenotolla saattaa olla erittäin suuri merkitys tutkimusten tuloksiin. Huolimattomasti tai taitamattomasti otetusta näytteestä tehdystä laboratorioanalyysistä saadaan pahimmillaan virheellinen tulos. Lisäksi näytteenotto-



Pekka Räisänen

kohtien sijainti määrää, kuinka hyvin kokonaisuutta tai tiettyä rakennuksen osaa edustavia tuloksia niistä voidaan saada. Näytteenoton yhteydessä saadaan myös arvokasta tuntumaa betonin kunnosta. Pahimmin tai muuten kiinnostavimmin vaurioituneista kohdista ei aina ole teknisesti mahdollista ottaa näytteitä. Onkin ehdottomasti suositeltavaa, että tutkija osallistuu näytteenottoon kohteessa paikan päällä.

Tavanomaisia näytteistä tutkittavia asioita ovat betonin puristus- ja vetolujuus, lisäksi tapuksesta riippuen tutkijaa ja korjaussuunnitte-

lijaa saattavat kiinnostaa esimerkiksi betonin karbonatisoituminen, kloridipitoisuus tai jokin erityinen betoniin kulkeutunut aine kuten sulfaatit. Vetolujuus on tärkeä lähtötieto suunniteltaessa päälle tehtäviä laastikorjauksia, betonivaluja tai pinnoituksia, puristuslujuus taas on keskeinen suunnitteluarvo kaikissa kuormitustarkasteluissa. Karbonatisoituminen ja kloridit kiinnostavat erityisesti raudoitusten korroosioriskiä arvioitaessa.

Betonin materiaaliominaisuuksien määrittämisen lisäksi tärkeä palovauriotutkimuksissa

käytettävä laboratoriomenetelmä on ohuthie-analyysi. Siinä betonin sisäistä vaurioitumista tutkitaan mikroskoopin avulla näytteestä valmistetusta ohuthieestä.

Jännitetyt betonirakenteet vaativat palotutkimuksessa erityistä huomiota. Koska betoni johtaa lämpöä varsin huonosti, nousee lämpötila syvemmällä rakenteessa melko hitaasti, vaikka ulkopintaan kohdistuisi hyvinkin korkea lämpötila. Tavallisen raudoitusteräksen materiaaliominaisuudet heikkenevät nopeasti lämpötilan noustessa, mutta huomattava osa niistä palautuu lähes ennalleen, kun rakenne jälleen jäähtyy. Jänneteräksellä näin ei yleensä tapahdu, vaan ominaisuudet jäävät huomattavasti alkuperäistä heikommiksi. Jänneteräksien ominaisuudet voivat heikentyä oleellisesti lämpötilan noustessa jo ennen kuin betoniin syntyy aistinvaraisesti havaittavia vaurioita. Nämä muutokset ovat luonteeltaan pysyvämpiä kuin tavanomaisella betoniteräksellä. Siksi erityisesti jännitetyissä rakenteissa kiinnostavaa on, kuinka korkeaksi lämpötila on noussut betonissa jännepunosten syvyydellä ja ympärillä. Teräksen materiaaliominaisuuksia voidaan tarvittaessa tutkia myös kohteesta irrotettujen näytepalojen avulla, mutta useimmiten se ei jännitetyissä rakenteissa ole mahdollista. Laboratoriossa voidaan materiaalinäytteestä määrittää kohtuullisen tarkasti lämpötila, jossa betoni on maksimissaan tulipalossa käynyt ja jänneterästen vaurioitumisriskiä voidaan arvioida sen avulla.

Korjaussuunnittelu

Palovaurioituneen rakennuksen korjaussuunnittelun lähtökohdana pitää olla, että korjauksen jälkeen rakenteiden varmuus mm. uutta tulipaloa vastaan on vähintään paloa edeltävällä tasolla. Tulipalossa vaikuttaneet pakkovoimat ja kertaluonteiset rasitukset ovat voineet aiheuttaa vaurioita tai muodonmuutoksia, joilla ei tavanomaisessa käyttötilanteessa ole suurta merkitystä, mutta mahdollisessa uudessa poikkeustilanteessa rakenteen varmuus ei ehkä enää

olekaan toivotulla tasolla. Kokonaisuuden toimivuuden arvioimiseksi onkin aina tärkeää kartoittaa betonirakenteiden kunnan lisäksi myös kaikkien liittyvien rakenteiden sekä liitosten ja liittymien kunto niiltä osin kuin ne liittyvät betonirakenteen toimintaan tai säilyvyyteen.

Tulipalossa vaurioituneen rakennuksen korjattavuuden kannalta betonirakenteiden tutkimukset ovat yksi osa kokonaisuutta. Kohteessa saatetaan toteuttaa monenlaisia tutkimuksia, mittauksia ja korjattavuusselvityksiä samanaikaisesti, joita joskus tekevät myös eri osapuolet. Usein betonitutkimusten edetessä todetaan, että rakennuksen korjaamisen kannalta keskeisimmäksi haasteeksi nousee jokin muu kuin betonirakenteiden vauriot. Tyypillisesti esimerkiksi sammutuksessa käytetty vesi aiheuttaa rakenteita kastellessaan hankalasti ratkaistavia korjausongelmia.

Palovaurioita tutkittaessa korostuu aina työturvallisuus. Erityisesti varhaisessa vaiheessa ennen raivaustöiden valmistumista tulipalokohteessa on usein vaarallista työskennellä. Rakenteissa voi olla romahdusvaara, putoamissuojaukset ovat puutteellisia tai alueella saattaa altistua haitallisille kemikaaleille. Vanhoissa rakenteissa on saattanut olla asbestia tai muita terveydelle haitallisia aineita, joita tulipalon seurauksena on mahdollisesti irronnut ja levinnyt paloalueelle.

Vaaratekijöiden minimoimiseksi on tärkeää, että osapuolet kommunikoivat avoimesti ja aktiivisesti tutkimus- ja korjaushankkeen alusta saakka ja koko hankkeen ajan. Asbestin ja muiden haitallisten aineiden osalta on tärkeää, että kiinteistön omistaja ja/tai käyttäjä ovat tietoisia kaikista rakennuksessa olevista ja käytettävistä materiaaleista ja aineista. Erityisesti vanhoissa rakennuksissa kiinteistön omistajalta lakisääteisesti edellytettävän tiedon kerääminen edellyttää kattavia selvityksiä ja tutkimuksia jo ennen kuin tulipalo tai muu poikkeustilanne syntyy.

Palovaurioiden tutkimustietoon perustuva korjaaminen on kaikkien osapuolten

etu. Ensisijaista on rakenteiden korjaaminen siten, että korjattu rakennus täyttää tehtävänsä luotettavasti ja turvallisesti. Tulipalo on aina äkillinen ja yllättävä tilanne, jonka jälkeen korjaushankkeen käynnistämisen on kiire. Korjaussuunnittelu ja tarvittava lähtötietojen kerääminen tutkimusten avulla uhkaa jäädä aikataulupaineiden jalkoihin. Suunnitelmalliseen tutkimusvaiheeseen kannattaa kuitenkin satsata. Sekä kustannusten että kuluvan ajan kannalta on edullisinta että korjaukset pystytään rajaamaan ja kohdistamaan oikein rakenteiden todelliseen kuntoon perustuen.



6

6 Työturvallisuuteen palokohteissa liikuttaessa täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Kuvassa osin palossa vaurioituneita ja osin palokunnan sammutustöiden aikana purkamia vesikattorakenteita.

Investigating fire damage to concrete

In Finland, there are more than 5000 building fires every year. In a significant proportion of buildings damaged by fire, concrete has been used as a key part of the load-bearing frame. Concrete structures sustain different types of damage in a fire, and the investigation of the extent and severity of the damage has a major effect on the determination of the fire repair costs.

The functioning of the load-bearing structures, the implementation of joints and the presence of any pre-stressed structures, in particular, need to be carefully established. A more detailed investigation plan is drawn up based on this information and the observations made during the initial examination.

When assessing the condition of the structures and their reparability, damage caused by the fire must be distinguished from damage that has possibly occurred prior to the fire due to use and ageing. Some of the damage to concrete may have been caused at the final stages of the fire as a result of firefighting efforts.

The high temperature during a fire causes many types of damage to concrete structures. These can be investigated using different methods, utilising both sensory and laboratory analyses.

Special attention shall be paid to pre-stressed concrete structures, when conducting a fire investigation. The properties of pre-stressing tendons can be essentially degraded as the temperature increases, even before damage detectable to the senses occurs to concrete.

A fire is always a sudden and surprising situation, and the repair project needs to be started urgently after the fire. Repairs can be restricted and correctly targeted based on the true condition of the structures, when the input data available in repair planning is based on thorough investigations.