

Vantaan kaupunki
Kaivokselan koulu
Kaivosvoudintie 10
01610 Vantaa

Betonisten julkisivu- ja piharakenteiden kuntotutkimus



Raportti 24.09.2014

TIIVISTELMÄ

Kaivoksen koulun betonisten julkisivu- ja piharakenteiden kuntotutkimus suoritettiin 14.5.2014 ja 11.6.2014 Aaro Kohonen Oy:n toimesta. Rakenteet tutkittiin maasta käsin ja itäpuolen julkisivulla myös nostokoriauton avulla. Näytteitä otettiin ikkunan ylityspalkkeista, sokkeleista, pohjoispäädyn tukimuureista ja portaasta sekä eteläpäädyn portaista ja porraskaiteesta.

Rakenteita tutkittiin visuaalisella havainnoinnilla, poranäytteillä, peitepaksuus mittauksilla ja rakenteiden pintoja vasaroimalla. Silmämääräisesti voitiin huomata rakenteissa halkeilua ja murtumia sekä paikoittaisia kalkkihärmiä. Visuaalisen havainnoinnin yhteydessä todettiin myös tiilipintojen peseytyneisyyttä ja tiilimuurauksen saumojen halkeilua.

Laboratoriotutkimusten mukaan betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee paljon näytteiden välillä. Osassa näytteistä karbonatisoitumissyvyys oli edennyt pidemmälle rakenteessa kuin mihin näyte oli otettu. Kaikissa näytteissä todettiin lisähuokostuksen puuttuvan betonista, jonka takia betonia ei voida luokitella nykyvaatimusten mukaan pakkasenkestäväksi märissä olosuhteissa. Huokostiloissa, ikkunanylityspalkkien näytteitä lukuun ottamatta, ilmeni täyteisyyttä, mikä viittaa rakenteiden korkeaan kosteusrasitukseen. Lisäksi yhdessä sokkelinäytteessä oli nähtävissä selkeitä viitteitä pitkälle edenneestä pakkasrapautumisesta. Betonirakenteista määritetyt vetolujuusarvot olivat pääosin hyviä, joten rakenteet ovat vielä korjauskelpoisia.

Tutkituista rakenteista kriittisimmässä tilassa on ikkunan ylityspalkit ja eteläpäädyn sisäpihan portaat. Myös muissa tutkituissa rakenteissa on korjattavaa. Sisäpihan portaiden kohdalla ainoa korjausvaihtoehto on portaiden uusiminen. Muiden rakenteiden kohdalla voidaan harkita joko piikkaus- paikkauskorjausta tai koko rakenteen uusimista.

SISÄLLYSLUETTELO:

TIIVISTELMÄ

1. TILAAJA JA KONSULTTI, YHTEYSTIEDOT	4
2. TEHTÄVÄ.....	4
3. KOHDE.....	4
4. BETONIN JA BETONIRAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN YMPÄRISTÖOLOSUHTEIDEN VAIKUTUKSESTA	5
4.1 Yleistä.....	5
4.2 Betonin karbonatisoituminen ja raudotteiden korrosio	5
4.3 Betonin vetolujuus	6
4.4 Betonin pakkasrapautuminen	6
4.5 Halkeilu ja muodonmuutokset.....	6
4.6 Muut mahdolliset vauriomekanismit	7
5. KENTTÄTUTKIMUKSET	8
5.1 Yleistä.....	8
5.2 Visuaalinen tarkastus.....	8
5.3 Betoniterästen peitepaksuus.....	9
5.4 Näytteet	10
6. LABORATORIOTUTKIMUKSET	11
6.1 Yleistä.....	11
6.2 Betonin karbonatisoituminen.....	11
6.3 Betonin vetolujuus	14
6.4 Betonin ohuthietutkimus	14
7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	17
8. KORJAUSHANKE JA KORJAUSTAPAVAIHTOEHDOT	19
8.1 Yleistä korjaushankkeen läpiviennistä	19
8.2 Korjausvaihtoehdot.....	20
8.2.1 Vaihtoehto 1: Rakenteiden piikkaus-paikkauskorjaus ja pinnoitus	20
8.2.2 Vaihtoehto 2: Betonirakenteiden uusiminen	21
VIITTEET.....	22
LIITTEET	22

1. TILAAJA JA KONSULTTI, YHTEYSTIEDOT

Tilaaaja: **Vantaan Tilakeskus, Hankepalvelut, Hankevalmistelu**
Hankevalmistelu
Ulla Lignell e-mail: ulla.lignell@vantaa.fi
puh. +358 (0)50 304 1141

Rakennusten kunnossapito
Jouni Räsänen e-mail: jouni.rasanen@vantaa.fi
puh. +358 (0)40 836 7993

Konsultti: **Aaro Kohonen Oy**
Elina Paukku e-mail: elina.paukku@sweco.fi
Koronakatu 2 puh. 0207 393 000 tai 0400 – 58 77 97
02210 Espoo fax. 0207 393 002

2. TEHTÄVÄ

Tehtävänä oli suorittaa Kaivoksen koulun ulkopuolisten betonirakenteiden kuntotutkimus. Kenttätutkimuksen suoritti 14.5.2014 DI Elina Paukku Aaro Kohonen Oy:stä apunaan RI (AMK) Christoffer Enberg ja ins.oppilas (AMK) Virve Puumala Aaro Kohonen Oy:stä. Tutkimuksia jatkettiin 11.6.2014 Enbergin ja Puumalan toimesta.

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada tietoa betonirakenteiden nykyisestä kunnosta sekä arvioida rakenteiden korjaustarvetta ja korjaustoimenpiteitä.

3. KOHDE

Tutkittavana kohteena olivat Kaivoksen koulun ulkopuoliset betonirakenteet. Rakennuksen julkisivut ovat pääosin kahitiiltä ja betonipintoja on ikkunan ylityspalkeissa ja sokkeleissa. Tutkittaviin rakenteisiin kuului myös rakennuksen teräsbetoniset ulkoportaat ja porraskaiteet. Itäsiipeen johtavia portaita lukuun ottamatta portaat ovat maata vasten rakennettuja ja ne on laatoitettu n. 50 mm paksuilla betonilaatoilla. Porraskaiteet ovat pohjoispäädystä 145 mm ja eteläpäädyn portailla n. 165 mm paksuja ja niiden päällä kulkee lisäksi teräskaide. Rakennus sijaitsee rinteessä metsäisessä maastossa. Puusto pohjois-, etelä- ja länsijulkisivuilla lähellä rakennusta ja suojaa sitä kovilta tuulilta ja vaakasateilta. Länsipuolella maanpinna yläpuolella on yksi kerros ja itäpuolella kolme kerrosta. Rakennus on valmistunut 60-luvulla.

4. BETONIN JA BETONIRAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN YMPÄRISTÖOLOSUHTEIDEN VAIKUTUKSESTA

4.1 Yleistä

Betonirakenteiden ikääntyessä tapahtuva vaurioituminen johtuu useista eri tekijöistä, jotka saavat aikaan materiaalien ominaisuuksien heikkenemistä eli turmeltumista. Turmeltuminen voi olla haitallisen nopeaa, mikäli käytetyt materiaalit tai työnsuoritus ovat olleet heikkolaatuisia tai rakenneratkaisut virheellisiä tai huonosti toimivia. Eri turmeltumisilmiöt voivat tapahtua samanaikaisesti, jolloin vaurioituminen saattaa tapahtua niiden kaikkien yhteisvaikutuksesta. Turmeltumisilmiöt ovat alkuvaiheessaan yleensä hitaasti eteneviä, mutta niiden etenemisnopeus tavallisesti kiihtyy vaurioiden edetessä.

Todennäköisimmät, tämän tutkimuksen kohteena ollutta rakennetta koskevat betonisten rakenteiden turmeltumisilmiöt on lyhyesti esitetty seuraavassa.

4.2 Betonin karbonatisoituminen ja raudotteiden korrosio

Betonin karbonatisoitueessa ilman sisältämä hiilidioksidi (CO_2) reagoi betonin sisältämän kalsiumhydroksidin (CaOH) kanssa, jolloin syntyy kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). Tällöin betonin pH-arvo, joka normaalisti on erittäin korkea, laskee ja betoni neutraloituu. Neutraloituminen alkaa betonin pinnasta ja etenee rintamana hidastuvalla nopeudella syvemmälle rakenteeseen. Korkeassa betonin huokosveden alkalipitoisuudessa (normaalioloissa) teräs on ns. passivaatitilassa korroosion suhteen /1/.

Karbonatisoituminen itsessään ei vaurioita betonia, mutta se johtaa terästen korroosioon. Karbonatisoitumisrintaman saavuttaessa terässyvyuden ja pH:n laskiessa rikkoutuu teräksiä suojaava oksidikalvo, jolloin hapen ja veden (kosteuden) läsnäollessa käynnistyy aktiivinen korrosio /2/.

Karbonatisoitumisen etenemisnopeus riippuu paitsi karbonatisoituvan aineen määräästä sekä ympäröivän ilman hiilidioksidipitoisuudesta, myös betonipinnan diffuusiovakutuksesta. Vaikka karbonatisoitumisreaktiotuotteet aluksi tiivistävät betonipintaa, vaikuttavat betonin huokosrakenne ja kosteuspitoisuus siihen, miten nopeasti hiilidioksidi betoniin tunkeutuu. Halkeamat lisäävät hiilidioksidin tunkeutumista paikallisesti. Karbonatisoitumisen eteneminen hidastuu merkittävästi vasta, kun betoni on jatkuvasti märkää. Myös korrosio käytännössä pysähtyy betonin ollessa täysin märkää ($\text{RH} > 98\%$). Korroosion nopeus karbonatisoituneessa betonissa riippuu betonin kosteuspitoisuudesta ja se etenee varmimmin noin 75 - 98 % suhteellisessa kosteudessa. Haitallisinta korroosion etenemisen kannalta on betonin vuoroittainen kuivuminen ja kastuminen. Korroosion vaikutuksesta raudotteiden vetokestävyys ja tartunta betoniin heikkenevät /2/, /3/.

Kaikki vapaat betonipinnat (myös sisätiloissa) karbonatisoituvat aikaa myöten, mutta reaktio itsessään hidastuu jatkuvasti huokosverkoston täytyessä. Toisaalta hyvin kuivissa olosuhteissa (RH alle 30 %) karbonatisoituminen pysähtyy, sillä reaktio vaatii tapahtuakseen vesiliuoksen. Karbonatisoitumista ei yleensä voi silmin havaita ehjästä

betonipinnasta, mutta pitkälle edennyt korroosio ilmenee useimmiten betonin halkeiluna ja joskus jopa selvänä ruosteisena värjäytymisenä.

Koska raudoituksen korroosiotuotteiden tilavuus on lähtöaineita suurempi, aiheutuu tästä betonin halkeilua ja jopa lohkeilua korroosion jo edettyä pitkälle. Karbonatisoitumisesta aiheutunut korroosio näkyy selkeästi raudoitusten suuntaisena halkeiluna.

Nyt tutkimuksessa kohteessa betonin karbonatisoitumista ja siitä johtuvaa teräskorroosiota voi siis käytännössä tapahtua kaikissa rakenneosissa.

4.3 Betonin vetolujuus

Betonin vetolujuus on merkittävästi alhaisempi kuin puristuslujuus. Heikentynyt vetolujuus kertoo mm. betonin rapautuneisuudesta ja sen perusteella voidaan arvioida betonin laatua ja korjattavuutta yleisesti. Rapautuneisuutta ei voida kuitenkaan päätellä pelkästään vetolujuudesta vaan tuloksia on hyvä verrata ohuthietutkimuksiin /1/.

4.4 Betonin pakkasrapautuminen

Kaikki kohteessa tutkitut betonirakenteet ovat alttiina ulkoilman lämpötilan vaihteluille, kosteustilalle sekä suoralle sateelle. Betoni on erittäin huokoinen materiaali, jonka huokosverkostoon voi olosuhteista riippuen olla sitoutuneena vaihtelevia määriä vettä. Huokosverkostossa oleva vesi laajenee jäätyessään, mikä aiheuttaa huokosverkostoon ylipaineen. Mikäli huokosverkoston vedellätytymisaste on korkea, ei ylipaineen ole mahdollista purkautua ilmatäytteisiin huokosiin, vaan se rikkoo betonin sisäisen rakenteen ja aiheuttaa siten betonin rapautumista. Rapautuminen voi pitkälle edetessään johtaa betonin täydelliseen lujuskatoon. Erilaisten suolojen läsnäolo betonissa voimistaa pakkasen vaikutusta, jolloin betonirakenteessa tapahtuu ns. "kuorimista" (engl. scaling) ja rakenteen halkeilu lisääntyy voimakkaasti. Pakkasrasituksen vaikuttavat paitsi betonin huokosrakenne, myös rakenteen kosteustekninen toimivuus / kosteusrasitustaso sekä ulkoiset olosuhteet. Rakenteen sijainnista riippuen rakenne voi vuoden kierron aikana jäätyä ja sulaa useita kertoja /1/, /2/.

Ohjeet pakkaselle alttiiden betonirakenteiden lisähuokostuksesta annettiin vuonna 1976. Sen mukaan pakkasrasitukselle alttiissa rakenneosissa täytyy betonin huokosjaon täyttää tietyt vähimmäisvaatimukset, jotta betoni voitaisiin katsoa pakkasenkestäväksi kosteusrasituksen alaisena. Tätä ennen ei betonin pakkasenkestävyyteen kiinnitetty mitään erityisempää huomiota.

4.5 Halkeilu ja muodonmuutokset

Betoni on hauras materiaali, johon helposti syntyy halkeamia. Vanhemmissa rakennuksissa rakenteiden halkeilu voi johtua joko rakenteiden kuivumiskutistumisesta, lämpöliikkeistä, pitkälle edenneestä teräskorroosiosta, virumasta tai kuormituksesta. Kolmea ensin mainittua halkeilutyyppeä voidaan kutsua myös ei-rakenteelliseksi halkeiluksi. Halkeamia voidaan pitää vaurioina, mikäli ne ovat esteettisesti epähyväksyttäviä, rakenne ei ole niiden johdosta vedenpitävä, ne vaikuttavat rakenteen kestävyteen ja säilyvyyteen tai ovat rakenteellisesti merkittäviä /5/.

Halkeilu lisää veden imeytymistä betoniin, mikä kasvattaa pakkasrasituksen vaikutusta. Halkeamat myös lisäävät paikallisesti hiilidioksidin tai muiden yhdisteiden tunkeutumista betoniin, jolloin näiden aiheuttamien vaurioiden kehittymisnopeus kasvaa. Rakenteelliset halkeamat pienentävät rakenteen kuormankantokykyä. Halkeama voi olla ns. aktiivinen tai passiivinen riippuen sen liikkeistä ja etenemisestä. Pieniksi halkeamiksi katsotaan alle 1 mm leveät halkeamat, suuriksi 1 – 6 mm leveät. Yli 6 mm leveitä halkeamia kutsutaan jo murtumiksi /4/.

4.6 Muut mahdolliset vauriomekanismit

Huokosten täytteisyys. Tietyissä olosuhteissa betonin huokosrakenteisiin voi muodostua kiteisiä aineita, jotka täyttävät huokostilaa. Alkuvaiheessa tästä ei yleensä ole haittaa rakenteelle. Ongelmaksi kiteytyminen muodostuu silloin, kun se etenee niin pitkälle, että betonin huokokset alkavat täyttyä, jolloin mm. betonin pakkasenkestävyys olosuhteista riippuen saattaa heiketä esim. kiteytyvän aineen aiheuttamien sisäisten jännitysten vaikutuksesta. Eräs tällainen kiteytyvä aine on ettringiitti, jota saattaa muodostua betoniin mm. liiallisen lämpökäsittelyn (elementtirakenteet tai talvibetonointiolosuhteet) seurauksena. Huokosten täytteisyys myös lisää kosteuden kulkeutumista betonissa /5/, /6/.

Kalkin liukeneminen ja betonin rapautuminen. Jopa aivan puhdas vesi voi turmella betonin tunkeutuessaan sen läpi. Veden syövyttävyyttä lisää sen mahdollisesti sisältämä ns. kalkkiaggressiivinen hiilidioksidi. Betonin kalkkipitoisuus vähenee veden liuottaessa ja kuljettaessa betonista kalsiumhydroksidia. Kun kalkkipitoisuus on vähentynyt riittävästi, häiriintyy sementin kovettumistuotteiden kemiallinen tasapaino, jolloin ne alkavat hajota ja betoni alkaa hitaasti rapautua. Vaurioitumistavasta johtuen virtaava vesiympäristö on seisovaa haitallisempi. Mikäli liukenemista tapahtuu myös rakenteen sisäosista (esim. betoni on harvaa korkean vesi-sementti -suhteen, runko-aineen epäedullisen rakeisuuden tai huonon työnlaadun vuoksi), voi tästä olla vahinkoa rakenteen kestävyydelle ja säilyvyydelle. Kalsiumhydroksidin liukeneminen näkyy betonipinnoilla ensin vähäisenä valkoisena värjäytymisenä ja myöhemmin selkeinä kalkkisuotaumina (suolapölynä tai jopa ”tippukivinä”). Kalsiumhydroksidia liukenee jopa 0 °C:n lämpötilassa. /2/, /5/, /6/.

Alkalikiviainesreaktiot. Alkalikiviainesreaktio on betonin sisällä tapahtuva paisumisreaktio, joka rapauttaa betonia. Tällaiset reaktiot ovat mahdollisia, jos samassa rakenteessa sementti sisältää runsaasti alkaleja (Na, K), betonin kiviaineksessa on heikosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja ja betonin kosteuspitoisuus on riittävän korkea. AKR:ssa halkeilu syntyy syvällä rakenteessa aiheuttaen halkeiluverkoston koko betonirakenteeseen. Alkalikiviainesreaktiosta kärsivälle betonirakenteelle tyypillisiä piirteitä on kosteudesta johtuva laikukkuus, epäsäännöllinen verkkohalkeilu, paisuminen, ja betonin halkeamista ulos tunkeutuva geelimäinen reaktiotuote. AKR muistuttaa ulkoisesti pakkasrapautumaa, joten sen varmistaminen vaatii ohuthieanalyysin. Ohuissa rakenteissa liikkuva kosteus kuitenkin poistaa reaktiotuotetta betonista, jolloin AKR:n erottaminen muusta rapautumisesta vaikeutuu. /1/.

5. KENTTÄTUTKIMUKSET

5.1 Yleistä

Kenttätutkimukset suoritettiin 14.05.2014 ja 11.06.2014. Kenttätutkimus piti sisällään seuraavia toimenpiteitä:

- visuaalisen tarkastuksen, vaurioiden yleisen kartoituksen (halkeamat, säröily, rapautuminen, teräskorroosio) ja valokuvaamisen
- tutkimuksen kohdentamisen kriittisille alueille
- poranäytteiden irrottamisen rakenteesta timanttiporalaitteistolla
- betoniterästen peitepaksuuksien mittausta
- porauskohtien paikkauksen polymeerimodifioidulla pakkasenkestävällä korjausbetonilla kuivasullontamenetelmää käyttäen

Tutkimuksissa keskityttiin lähinnä betonirakenteiden kunnon, korjattavuuden ja teräskorroosion laajuuden selvittämiseen. Kaikki poranäytteet numeroitiin välittömästi porauksen jälkeen ja suljettiin tiiviisti muovipussiin. Tutkimus suoritettiin noudattaen ohjetta BY 42 – Betonijulkisivun kuntotutkimus, 2013 /1/.

Tutkimus- ja mittausalueet sekä näytteenotkohdat on esitetty liitteessä 1. Näyteluettelo on esitetty liitteessä 2 ja betoniterästen peitepaksuusmittauksen tulokset on esitetty liitteessä 3. Näytepiirroksot, betonin karbonatisoitumismääritysten tulokset, vetolujuustestausten tulokset ja ohuthieanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 4. Liitteessä 5 on esitetty valokuvia tutkimuskohteesta.

5.2 Visuaalinen tarkastus

Visuaalisista havainnoista tehdyt yksittäiset johtopäätökset tai niiden tarkennukset on esitetty kursivilla tekstillä.

Pohjoispään sisäpihalla **sokkelissa** on selvästi rapautunut alue. Betonin pinta on irronnut ja halkeamat kulkevat pysty- ja vaakasuunnassa. *Halkeilualueelta porattaessa näyte hajosi kokonaan, joten näyte K10 otettiin hieman vähemmän halkeilleelta alueelta.* Sokkeleissa on havaittavissa länsijulkisivulla paljon pystysuuntaisia 0,15...0,30 mm levyisiä halkeamia, jotka alkavat sokkelin yläpinnasta ja jatkuvat maanpinnan alapuolelle. Tällaisia halkeamia löytyi myös pohjoispäädyn sisäpihan sokkeleista, itäjulkisivun etelän puoleiselta reunalta ja eteläpäädyn sisäpihan sokkeleista. Eteläpään sisäpihan perällä olevan sisäänkäynnin **betonitasanteen** etureunassa on myös näkyvissä verkkomaista halkeilua ja kalkkihärmää. Etureunassa on myös näkyvissä raudoitusten korroosiota. Sokkelin ja tasanteen liitoskohdassa on suuri halkeama, joka jatkuu tiilisaumassa. Sisäpihalla on myös sokkelin ja tiiliseinän liittymiskohdan alapuolella paikoin vaakasuuntaisia pitkiä halkeamia. Sokkelipintojen vasarointia tehtiin julkisivuilla länteen, etelään ja eteläpäädyn sisäpihalla. Vasaroinnissa ei löytynyt ”kopoa” eli rakenteiden pinnan irtonaisuutta.

Osa **tiilipinnoista** on ”peseytynyttä” sateen vaikutuksesta. Lounaiskulmauksessa alimpien tiilien alareunat ovat rikkoutuneet. Tiilisaumat ovat myös erittäin peseytyneet

ja niissä esiintyy halkeamia. Tiilien ja sauman väliin on paikoin ilmestynyt suuria, tiilen muotoa seuraavia rakoja. Pohjoispuolen sisäpihalla näkyy, että tiiliä on vaihdettu ja lohkeamia paikattu. Tiilien ja sauman väliset raot ovat selvästi irti.

Ikkunan ylityspalkeissa on näkyvissä halkeamia ja betonin irtoamista. Itäjulkisivun ikkunoiden ylityspalkin alareunassa oli paikoin myös pääteräkset näkyvissä. Yhdessä kohdassa hakarautoitusta oli ruostunut täysin ja rautoitusta katkesi irtoavan betonipalan mukana. Otsapinnoissa on näkyvissä sateen aiheuttamaa peseytymistä, mikä on paljastanut lähimpänä pintaa olevat hakarautoitukset.

Maata vasten rakennetuissa betoniportaissa on näkyvissä kalkkihärmää ja kalkkisuotaumaa, mikä viittaa kosteuden liikkumiseen betonissa. Kalkkihärmää on varsinkin askelmien pystypinnoissa. Eteläpäädyn portaissa askelmien pystypinna ovat paikoin murtuneet ja niistä kasvaa kasvillisuus läpi. Pystypinnoilla ja betonilaattojen saumoissa kasvaa myös paljon sammalta.

Portaiden betonikaiteissa ja rakennuksen tukimuureissa on myös näkyvissä kalkkihärmää ja kalkkisuotaumaa. Eteläpäädyn portaan kaiteessa kalkkihärmää esiintyy metsän puolella maanrajassa paksuinakin kerroksina. Pohjoispäädyssä olevissa tukimuurirakenteissa on havaittavissa paljon pinnan halkeilua ja tukimuurissa on yhdessä kulmassa koko tukimuurin korkuinen halkeama. *Tukimuurin pinnan rosoisuus voi johtua huonosta betonin tiivistämisestä rakennusvaiheessa.* Eteläpäädyn sisäpihan tukimuurissa on paikoin viitteitä raudoitteiden korroosiosta ja rakennuksen ulkokulman kohdalla on pystyhalkeama. Eteläpäädyn portaan kaiteen betoniosissa on portaikoin puolella kaiteen pystyraudoitus selvästi näkyvissä. Betoni on irronnut raudoitteiden päältä korroosion vaikutuksesta. Myös yläreunan levennyksessä on selvästi näkyvissä raudoituksen korroosiota ja paikoin lähes kaikki levennyksen haat ovat näkyvissä. Lisäksi levennyksessä on sisäpihan puolella pitkiä vaakahalkeamia. Betoni kaiteesta on myös irronnut paloja ja siitä on selvästi irtoamassa lisää. Myös betonikaiteen päällä oleva teräskaide on ruostunut. Pohjoispäädyn portaiden betonikaiteessa on portaiden puolella näkyvissä useita vaakasuuntaisia noin 60..100 mm pitkiä halkeamia. Portaiden ja tukimuurien vasaroinnissa ei löytynyt ”kopo” alueita.

Etelänpuoleisella sisäpihalla ”itäsiipeen” johtavien **betoniportaiden alapinnassa** on suuria kalkkivalumia. Portaiden askelmapuolella on myös kalkkihärmää ja askelmien päällä kasvaa paljon sammalta.

Tutkitusta rakennuksesta ja rakenteista on esitetty kuvia liitteessä 5.

5.3 Betoniterästen peitepaksuus

Terästen peitepaksuus mitattiin Proceq Profometer 5 –peitepaksuusmittarilla. Mittaustuloksia saatiin 117 kpl. Mittauksissa ilmeni, että rakenteissa on normaalitasoon verrattuna vähän raudoitusta. Mittaustulosten lukumäärän vähäisyydestä johtuen tuloksiin tulee suhtautua varauksella. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 3. Mittaustuloksia saatiin seuraavia tuloksia:

Ikkunan ylityspalkit:

Mittausalueita 2 kpl ja mittaustuloksia 17 kpl. Suurin teräsjaakauma 41,2 % syvyydellä 15-19 mm. Pienin teräsjaakauma 5,9 % syvyydellä 10-14 mm.

Sokkelit:

Mittausalueita 4 kpl ja mittaustuloksia 43 kpl. Suurin teräsjaakauma 34,9 % syvyydellä 20-24 mm. Pienin teräsjaakauma 2,3 % syvyydellä >50 mm.

Porraskaiteet:

Mittausalueita 2 kpl ja mittaustuloksia 24 kpl. Suurin teräsjaakauma 29,2 % syvyydellä 10-24 mm. Pienimmät teräsjaakaumat 4,2 % 5-9 mm ja 15-19 mm syvyydellä.

Tukimuurit:

Mittausalueita 2 kpl ja mittaustuloksia 33 kpl. Suurimmat teräsjaakaumat 18,2 % syvyydellä 15-19 mm ja 35-39 mm. Pienin teräsjaakauma 3,0 % syvyydellä 40-44 mm.

→ Vuonna -65 peitepaksuusvaatimus oli 20 mm. Ainoastaan sokkeleissa suurin teräsjaakauma täyttää rakennusajan peitepaksuusvaatimuksen. Ikkunan ylityspalkeissa raudoituksesta 47 % alittaa peitepaksuusvaatimuksen. Nykykäsitysten mukaan, rasi-
tusluokat huomioiden, em. peitepaksuudet ovat riittämättömän raja-arvoalueilla. Nykyiset vaatimukset ovat sokkeleille 30-35 mm, portaille ja porraskaiteille 35 mm ja ulkoseinärakenteille (tässä tapauksessa ikkunan ylityspalkit) 35 mm. /7/.

5.4 Näytteet

Laboratoriotutkimuksia varten rakenteista porattiin näytteitä betonin ohuthietutkimusta (14 kpl) ja vetolujuustestausta (15 kpl) varten Ø 45 mm:n, Ø 59 mm:n ja Ø 63 mm:n timanttiterillä. Lisäksi rakennuksen eteläpuoleisen sisäpihan portaista otettiin mielenkiinnosta ja mahdollisen alkalikiviainesreaktion vuoksi tutkittavaksi näyte AKR.

Poranäytteet numeroitiin juoksevasti niiden porausjärjestyksen mukaan. Näytteet K1 – K14 on irrotettu 14.5.2014 ja näytteet K15 - K29 on irrotettu 11.6.2014. Poranäytteistä on esitetty visuaalisia havaintoja kohdassa 6.1. Näytteiden irrotuskohdat on esitetty liitteessä 1. Näyteluettelo suoritettuihin tutkimuksiin on esitetty liitteessä 2.

6. LABORATORIOTUTKIMUKSET

6.1 Yleistä

Laboratoriotutkimusten tuloksista tehty mahdolliset johtopäätökset on esitetty kursivilla tekstillä.

Ennen porausnäytteiden halkaisua suoritettiin näytteiden visuaalinen tarkastus. Visuaalisessa tarkastuksessa taltioitiin porausnäytteiden mitat, halkeamat, mahdolliset harvavalukohdat, näytteessä olevat teräkset ym. Kaikista poranäytteistä määritettiin myös betonin karbonatisoitumissyvyys lieriön kyljistä fenoliftaleiiniliuoksella. Näyteluettelo suoritettuine tutkimuksineen on esitetty liitteessä 2.

Porausnäytteiden visuaalisessa tarkastuksessa todettiin seuraavaa:

- ikkunan ylityspakkinäytteiden (7 kpl) halkaisija on 45 tai 59 mm ja pituus vaihtelee välillä 35...70 mm
- betonin kiviaineksen maksimiraekoko vaihtelee välillä #12...30 mm
- sokkelinäytteiden (9 kpl) halkaisija on 59 tai 63 mm ja pituus vaihtelee välillä 35...105 mm
- betonin kiviaineksen maksimiraekoko vaihtelee välillä #12...32 mm
- Molemmat tukimuurinäytteet ovat halkaisijaltaan 63 mm, niiden pituus on noin 150 mm ja kiviaineksen maksimiraekoko on #34 mm
- Porrassuonunäytteiden (4 kpl) halkaisija on 63 mm, näytteiden pituus vaihtelee välillä 100...165 mm ja kiviaineksen maksimiraekoko vaihtelee välillä #7...30 mm
- Porraskaiteiden näytteiden (4 kpl) halkaisija on 63 mm, näytteiden pituus vaihtelee välillä 40...165 mm (kaiteen paksuus on 165 mm) ja kiviaineksen maksimiraekoko vaihtelee välillä #22...27 mm.
- Näytteet K1, K13 ja K22 osuivat teräkseen. Kaikissa teräs oli väriltään puhdas.
- Näytteessä K10 oli silminnähtävissä paljon halkeamia ja se on täysin rapautunut
- Näytteessä K11 (ikkunan ylityspalkki) oli pinnassa n. 15 mm oikaisuvalu.
- Näytteessä K2 ja K13 (sokkeli) sisäpinnassa oli bitumikerros.
- Näytteet K17, K19, K21 ja K24 katkesivat porattaessa.

Näytteissä ei ollut havaittavissa mitään muuta tavanomaisesta poikkeavaa. Betonilieriöiden näytepiirroksia on esitetty liitteessä 4. Valokuvia poranäytteistä on esitetty liitteessä 5.

6.2 Betonin karbonatisoituminen

Kaikki 29 poranäytettä tutkittiin Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy:ssä (tutkimusselostus Nro 070914, 12.08.2014). Karbonatisoitumismääritykset tehtiin kaikkien poranäytteiden kyljestä poralieriön molemmista päistä fenoliftaleiini-liuoksen avulla soveltaen standardia SS 137242-1988 /8/. Lisäksi betonin karbonatisoituminen tutkittiin

ohuthieistä (14 kpl). Ohuthietutkimus antaa tarkimman tuloksen betonin karbonatisoitumisesta, mutta vain valmistuskohdasta ja 25 mm:n levyiseltä alueelta (ohuthielekkeen koko on max. 75 mm x 25 mm).

Ikkunan ylityspalkkien betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee näytteiden ulkopinnassa 3 mm:stä aina poranäytteen läpi (> 40 mm). Keskiarvosyvyys on 18 mm. Ohuthietutkimuksessa todettu betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee 2...40 mm välillä.

Sokkelirakenteissa betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee näytteiden (12 kpl) ulkopinnassa 0...66 mm välillä, keskiarvosyvyys 32,5 mm. Poikkeuksena on näyte K2, jossa karbonatisoitumissyvyys on 105 mm. Ohuthietutkimuksessa todettu betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee välillä 1...53 mm näytteiden ulkopinnassa. Sokkelin läpäisevistä näytteistä (2 kpl) selvisi, että karbonatisoitumissyvyys etenee myös lämmöneristeen puolelta betonirakenteeseen. Molemmissa näytteissä karbonatisoitumissyvyuden keskiarvo ylitti pinnasta mitatut raudoitesyvyydet.

Pohjoispäädyn **tukimuurirakenteissa** betonin karbonatisoitumissyvyys näytteiden (2 kpl) ulkopinnassa on noin 27 mm. Ohuthietutkimuksessa todettu betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee välillä 14...19 mm näytteiden ulkopinnassa.

Porrarakenteissa betonin karbonatisoitumissyvyys on määritelty vain yhdestä näytteestä, K20. Näytteen yläpintana on noin 45mm paksu betonilaatta. Näytteen pohjabetonin karbonatisoitumissyvyys ulkopinnassa 20...32 mm välillä. Ohuthietutkimuksessa todettu pohjabetonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee välillä 9...13 mm näytteen ulkopinnassa. Pintalaatan karbonatisoitumissyvyys on ohuthietutkimuksen mukaan vain 0...0,5 mm.

Porraskaiteiden betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee näytteiden (4 kpl) pinnassa 2...55 mm välillä, keskiarvosyvyys 18,5 mm. Kaiderakenteissa karbonatisoitumista tapahtuu molemmista pinnoista. Ohuthietutkimuksessa todettu betonin karbonatisoitumissyvyys vaihtelee välillä 9...17 mm näytteiden ulkopinnassa, eli portaiden puoleisessa pinnassa.

Karbonatisoitumisnopeutta voidaan kuvata ns. karbonatisoitumiskertoimella [mm/\sqrt{a}], joka saadaan lasketuksi ns. neliöjuurimallin avulla kaavasta $x = k\sqrt{t}$, missä x on karbonatisoitumissyvyys [mm], k on karbonatisoitumiskerroin [mm/\sqrt{a}] ja t on aika [a]. Neliöjuurimallin mukaan koulurakennuksen (ikä 49 vuotta) ikkunan ylityspalkkien ja porraskaiteiden karbonatisoitumiskertoimeksi saadaan $k = 2,57 \approx 2,6 \text{ mm}/\sqrt{a}$. Vastaavasti sokkelirakenteiden karbonatisoitumiskerroin $k = 4,642 \approx 4,6 \text{ mm}/\sqrt{a}$ ja tukimuri- ja porrarakenteiden karbonatisoitumiskerroin $k = 3,714 \approx 3,7 \text{ mm}/\sqrt{a}$. Mitä pienempi kertoimen arvo on, sitä hitaampaa on betonin karbonatisoituminen. Tyypillisesti karbonatisoitumiskertoimen arvot ovat välillä $k = 1,5...3,5 \text{ mm}/\sqrt{a}$, betonin laadusta riippuen /1/.

Betonin karbonatisoitumista koskevat kaikki tulokset (sekä porauslieriöiden kyljestä mitatut arvot että ohuthietutkimuksessa mitatut arvot) on esitetty taulukossa 1 ja liitteessä 4.

Taulukko 1. BETONIN karbonatisoitumissyvyydet (mm) rakenneosittain näytteiden ulko-/alapinnoista sekä fenoliftaleiiniliuosta käyttäen (minimi, keskiarvo, maksimi) että ohuthieanalyysissä. up = näytteen ulkopinta, ksp = näytteen katkaistu sisäpinta

NÄYTTEEN TUNNUS	Rakenneosa	karb.syvyydet (mm), ulko-/alapinta			karb.syvyydet (mm), sisä-/yläpinta			Ohuthie (mm)
		min.,	ka.,	max.	min.,	ka.,	max.	
K1	ikk.ylit.palkki	34	läpi	läpi		katk.		läpi, eli >40
K2	sokkeli		105	läpi		katk.		
K3	sokkeli	0	9	13		katk.		6 - 11 up
K4	sokkeli	9	16	23		katk.		
K5	sokkeli		*			katk.		1 - 10 up
K6	ikk.ylit.palkki	3	10	21		katk.		2 - 32 up
K7	ikk.ylit.palkki	8	12	läpi		katk.		8 - 21 up
K8	ikk.ylit.palkki	10	17	läpi		katk.		13 - 18 up
K9	ikk.ylit.palkki	4	17	25		katk.		7 - 21 up
K10	sokkeli		läpi			katk.		läpi, eli >53
K11	ikk.ylit.palkki	7**	9**	15**		katk.		4 - 8 up, 9 - 13 ksp
K12	ikk.ylit.palkki	21	23	25		katk.		
K13	sokkeli	39	46	66	21	25	30	
K14	sokkeli	32	39	48		katk.		
K15	tukimuuri		*			katk.		14 - 19 up
K16	tukimuuri	22	27	36	6	11	15	
K17	porrasnousu		katk.		1	1	2	
K18	porraskaide	7	12	15	2	4	6	
K19	porrasnousu		katk.		1	4	7	
K20	porrasnousu	20	25	32	0	0	0	0 - 0,5 up laatta, 9 - 13 ksp
K21	porrasnousu		katk.		1	1	2	
K22	porraskaide	39	45	51	32	41	55	
K23	porraskaide		*			katk.		9 - 17 up
K24	porraskaide	4	5	6	2	4	6	
K25	sokkeli	9	14	17		katk.		
K26	sokkeli	18	läpi	läpi		katk.		25 - 57 up
K27	sokkeli	17	22	23	24	28	35	
K28	sokkeli	19	24	32		katk.		
K29	sokkeli	10	25	34		katk.		21 - 33 up

(katk. = näyteliiriö katkaistu /katkennut)

* Ei selkeästi määritettävää tulosta liuoksella

** Mitattu pohjabetonin pinnasta, oikaisuvalu n. 15 mm

→ *Betonipintojen karbonatisoitumissyvyydet vaihtelevat paljon. Keskimääräiset karbonatisoitumissyvyydet ikkunanylityspalkkien ja porraskaiteiden kohdalla tavanomaisia. HUOM! Ehjässä betonissa. Halkeamien kautta karbonatisoitumisrintama etenee nopeammin ja syvemmälle rakenteeseen. Sokkelien ja tukimuurien karbonatisoitumissyvyydet ovat tavanomaista korkeammat. Porrasnousun yläpinnasta saadut pienet karbonatisoitumissyvyydet voivat johtua portaan korkeasta kosteuspitoisuudesta. Mittaustulosten mukaan karbonatisoitumisrintama on ainakin sokkeleissa saavuttanut lähes 80 % teräksistä. Silmämääräisesti näitä teräksiä ei näy kuin muutama, toisin kuin ikkunan ylityspalkkeissa, joissa teräksiä on näkyvissä joka puolella (ks. kohta 5.3, Betoniterästen peitepaksuus.*

6.3 Betonin vetolujuus

Betonin vetolujuusmääritykset tehtiin Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy:ssä (tutkimuslaskutus Nro 070914, 12.08.2014). Vetolujuuden testaus suoritettiin standardia SFS 5445 /9/ soveltaen (ilman tiheyden määrittystä) yhteensä 15 koekappaleelle.

Betonien (K2, K4, K12, K13, K14, K16, K17, K18, K19, K21, K22, K24, K25, K27, K28) vetolujuudet vaihtelivat välillä 0,2...4,4 MN/m² keskiarvon ollessa 1,9 MN/m². Vetomurto tapahtui heikoimmassa tuloksessa (näyte K21) runkoainetta rikkomatta noin 115 mm:n syvyydellä näytteen ulkopinnasta. Myös toiseksi heikoimmassa tuloksessa (K22) vetomurto tapahtui runkoainetta rikkomatta noin 25 mm:n syvyydellä pinnasta. Muiden näytteiden vetolujuudet olivat yli 1 MN/m².

Viitteen /1/ mukaan vetolujuuden ollessa luokkaa 0 on näytteessä pitkälle edennyttä rapautumaa ja vetolujuuden ollessa luokkaa 0,5 - 1,0 MN/m² on näytteessä jonkinasteista rapautumaa. Kun vetolujuus on luokkaa 1,5 MN/m² tai yli, näytteessä ei todennäköisesti ole merkittävää rapautumaa.

Vetolujuustestauksessa kappaleen murtotavasta voidaan myös päätellä betonin kuntoa. Jos murto tapahtuu kivirakenteiden pintoja pitkin, rapautumisen todennäköisyys on suuri. Rapautumattoman näytteen murtopinta rikkoo suuriakin runkoaineita ja se on suhteellisen suora. 15:sta koekappaleesta vain neljässä murtopinta oli kivirakeita rikkova.

→ Tulosten ja niiden teoreettisen arviointikäytännön mukaan vain kahden näytteen (K21 ja K22) vetolujuusarvoissa on ns. viitteitä rapautumasta. Näytteen K22 vetomurto on tapahtunut melko syvällä ulkopinnasta, mutta runkoainerakeita rikkomatta, joten kyseessä saattaa olla pakkasrapautuman aiheuttama materiaalin heikentyminen. Näyte K21 on porrasmuotoista. Vierestä otetussa K20:n ohuthienäytteessä oli runsasta huokostilojen täytteisyyttä ja mikrohalkeamia, mikä viittaavat alkavaan pakkasrapautumaan. Muissa näytteissä ei vetolujuuksien perusteella ole todennäköisesti rapautumaa.

Betonin vetolujuustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 4.

6.4 Betonin ohuthietutkimus

Betonin ohuthietutkimus (eli mikrorakennetutkimus) suoritettiin Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy:n laboratorioissa Vantaalla yhteensä 14 näytteelle. Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy:llä on Mittatekniikan keskuksen myöntämä FINAS-akkreditointi ohuthietutkimuksille (akkreditoitu testauslaboratorio T208, SFS-EN ISO/IEC 17025).

Näytteistä valmistettiin liimausten ja esi-impregnointien jälkeen 14 kpl noin 75 mm x 25 mm x 0,025 mm:n kokoista ohuthienäytettä (näytteen pituudesta riippuen), jotka tutkittiin polarisaatiomikroskoopilla. Tutkimus tehtiin soveltaen standardia ASTM C 856-11 /10/.

Tutkimusraportti kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 4. Tutkimuksessa (Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy:n tutkimusselostus nro Nro 709014, 12.08.2014) havaittiin mm. seuraavaa:

Ikkunan ylityspalkit (näytteet K1, K6, K7, K8, K9, K11):

- Betoni on karbonisoitunut ulkopinnastaan epätasaisesti. Näyte K1 oli karbonisoitunut koko näytteen kattamalla alueella eli > 40 mm:n syvyydellä. K11 pinnassa on noin 15 mm paksu oikaisuvalu. Oikaisuvalussa karbonisoitumissyvyys on 4-8mm ja pohjabetonissa 9-13 mm. Muissa näytteissä karbonisoitumissyvyys vaihtelee 2-32 mm välillä.
- Yhdenkään näytteen betonia ei voida pitää nykyäsitäyksen mukaan pakkasenkestävänä kosteusrasituksessa.
- Näytteessä K11 huokostiloissa on 0,02-0,05 mm paksuja ettringiittitäytteitä
- Muissa näytteissä ei todettu huokostilan täyteisyyttä.
- Näytteiden betonin vesi-sementtisuhteet todettiin tavanomaisiksi.
- Sementin hydrataatioaste oli pääsääntöisesti tavanomainen. Hydrataatioaste todettiin näytteessä K1 korkeaksi ja näytteessä K6 taas tavanomaista alhaisemmaksi.
- Runkoaines on tavanomaista luonnonsoraa/-hiekkaa, jossa sideainerunkoainekontaktit todettiin ehjäksi tai pääosin ehjäksi.
- Näytteissä K1, K6 ja K7 pääkivilajeina ovat gneissi ja graniitti, näytteissä K8, K9 ja K11 gneissi, graniitti ja amfiboliitti.
- Näytteessä K6 todettiin kuormitusperäinen tai mahdollisesti lähistöllä esiintyvistä teräskorroosiosta johtuva halkeama. Näytteessä K8 todettiin erittäin ka-pea (<0,01 mm) kuivumiskutistumismikrohalkeama.
- Näytteen K11 oikaisuvalun ja pohjabetonin saumassa esiintyi useita sauman suuntaisia pitkänomaisia ilmataskuja.

→ *Betoni ei ole pakkasenkestävää.*

Sokkelirakenteet (näytteet K3, K5, K10, K26, K29):

- Rakennuksen pohjoispäädystä otetuissa näytteissä karbonisoitumissyvyys vaihtelee 1-11 mm välillä ja eteläpäädystä otetuissa vaihtelu on 21–33 mm välillä.
- Pohjoispäädystä poikkeuksena on K10 jossa karbonisoitumissyvyys ulottuu näytteen läpi >53 mm:n syvyyteen. Näytteessä ilmeni paljon vaihtelevan suuntaisia halkeamia.
- Yhdenkään näytteen betonia ei voida nykyäsitäyksen mukaan pitää pakkasenkestävänä kosteusrasituksessa.
- Näytteessä K26 oli paikoin pitkänomaisia huokostiloja, jotka ovat seurausta vedenerottumisesta tuoreessa betonissa.
- Näytteiden huokostilat olivat täytteettömiä lukuun ottamatta näytteitä K10 ja K29. Näytteen K29 huokostilojen seinämissä esiintyi vasta yksittäisiä täytekteymiä. Näytteessä K10 oli enimmillään 0,15mm paksuja täytteitä (lähinnä ettringiittiä).