

Rosette Korhonen

**VARASTORAKENNUS K21:N TERÄSBETONIRAKENTEEN
KUNTOTUTKIMUS**

VARASTORAKENNUS K21:N TERÄSBETONIRAKENTEEN KUNTOTUTKIMUS

Rosette Korhonen
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennustekniikan sv.

Tekijä(t): Rosette Korhonen
Opinnäytetyön nimi: Varastorakennus K21:n teräsbetonirakenteen kuntotutkimus
Työn ohjaaja(t): Hannu Kääriäinen ja Pertti Uhlbäck
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015
Sivumäärä: 37 + 3 liitettä

Rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta suunniteltaessa on tärkeää selvittää vanhojen rakenteiden kunto. Tutkimusten avulla saadaan selville, voiko ole-massa olevia rakenteita säilyttää. Opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää Oulun Toppilassa sijaitsevan vanhan rikkivaraston betonirakenteiden kunto ja poh-tia tulosten perusteella, täytyykö rakennus purkaa vai voidaan se korjata ja säilyttää.

Kohde oli 1950-luvulla rakennettu rikkivarasto, jonka viimeisimpänä käyttötar-koituksena on ollut läheisen rakennustyömaan elementtitalina toimiminen. Tu-levaisuudessa varaston tilalle tulee pysäköintilaitos sekä asuinrakennus.

Betonirakenteen kunto selvitettiin silmämääräisesti sekä erilaisin tutkimuksin. Rakenteesta tutkittiin raudoitteiden peitepaksuuksia, karbonatisoitumissyvyyttä ja kloridipitoisuutta. Lisäksi porattiin rakennekoekappaleet veto- ja puristuslu-juuden määrittämistä sekä ohuthietutkimusta varten.

Tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella betonirakenne oli ikäisekseen pää-osin hyvässä kunnossa. Silmämääräisesti tarkasteltuna rakenne oli erittäin huonokuntoinen. Rakenne todettiin kuitenkin mahdolliseksi korjata osittain, joten tässä opinnäytetyössä käsitellään myös vaihtoehtoisia korjaustapoja. Massan epätasalaatuisuuden vuoksi lisätutkimusten ja lopullisen päätöksen tekeminen jätettiin tilaajalle.

Asiasanat: betonirakenne, kuntotutkimus, ohuthie, karbonatisoituminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author(s): Rosette Korhonen

Title of thesis: Condition Survey for Reinforced Concrete Structures of Warehouse K21

Supervisor(s): Hannu Kääriäinen and Pertti Uhlbäck

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015

Pages: 37 + 3 appendices

When planning a change in the purpose of the use of a building, it is important to identify the condition of old structures so it can be decided whether the existing structures can be retained. The objective of this thesis was to identify the condition of the concrete structures of an old warehouse that is located in Oulu and to consider whether the building must be demolished on the basis of the results or can be repaired.

The target was a warehouse built in the 1950's that has been used as an element hall of the near building site. It is planned that in the future the warehouse will be converted to a parking space and a residential building.

The condition of the concrete structure was identified with different researches. The research included for example defining the covering thicknesses of the reinforcement elements, carbonation of the concrete and a chloride content. Furthermore samples were drilled for the thin section research and for pull and compression tests.

On the basis of the laboratory researches the concrete structure was mostly in good condition compared to its age. The structure was extremely unfit by visual survey. However the structure was found to be possible to be repaired partly so alternative renewal ways were reviewed in this thesis. Because of the unbalanced quality of the concrete, the making of the additional researches and the final decision was left to the subscriber.

Keywords: concrete structure, condition research, thin section, carbonation

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 BETONIRAKENTEEN TUTKIMUSMENETELMÄT	8
2.1 Näytteenottomenetelmät	8
2.2 Ohuthietutkimus	9
2.3 Vetokoe	9
2.4 Puristuskoe	11
2.5 Kimmovasaramittaus	12
2.6 Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen	12
2.7 Raudoitteiden peitepaksuuden määrittäminen	13
2.8 Kloridipitoisuuden määrittäminen	14
3 VARASTORAKENNUS K21:N KUNTOTUTKIMUS	16
3.1 Silmämääräinen tutkiminen	17
3.2 Ohuthietutkimus	20
3.3 Vetolujuuden määrittäminen	22
3.4 Puristuslujuuden määrittäminen	23
3.5 Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen	24
3.6 Raudoitteiden peitepaksuuden määrittäminen	25
3.7 Kloridipitoisuuden määrittäminen	26
3.8 Kuntotutkimustulosten kriittinen arviointi	28
4 TUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN KOKO RAKENNUKSEEN	29
4.1 Päätöksentekoon vaikuttavat asiat	29
4.2 Käyttöikämitoitus	31
4.3 Korjausvaihtoehtoja	32
4.4 Tarvittavat lisätutkimukset	33
5 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	

Liite 1 WSP Finland Oy:n tutkimusraportti

Liite 2 Kuntotutkimustulokset

Liite 3 Korroosiotarkastelua

1 JOHDANTO

Rakennuksen käyttötarkoitusta muutettaessa on tärkeää varmistaa vanhojen rakenteiden kunto ja laatia korjausehdotus havaittujen ongelmien korjaamiseksi. Samalla voidaan arvioida kustannuksia ja pohtia, onko järkevämpää kunnostaa vanhat rakenteet vai rakentaa kokonaan uudet rakenteet vanhojen tilalle.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Oulun Toppilassa sijaitsevan K21-varastorakennuksen betonirakenteen kuntoa silmämääräisesti sekä laboratorio-tutkimuksin. Tavoitteena on selvittää betonirakenteen kunto sekä pohtia korjausvaihtoehtoja, mikäli rakenne on korjattavissa. Betonirakenteesta otettavista rakennekoekappaleista selvitetään rakenteen veto- ja puristuslujuus sekä karbonatisoitumissyvyys. Rakennekoekappaleista valmistetaan myös ohuthienäytteet. Lisäksi tutkitaan rakenteen pakkasenkestävyyttä ja kloridipitoisuutta sekä mitataan raudotteiden peitepaksuudet.

K21 on 3 000 m²:n kokoinen kylmä varastorakennus, joka on rakennettu useassa osassa. Ensimmäinen osa on rakennettu vuonna 1956. Opinnäytetyössä tutkimukset tehdään otantana ympäri rakennusta ja saatujen tulosten pohjalta pyritään arvioimaan koko rakennuksen kuntoa. Kuntotutkimus rajataan betonirakenteisiin ulkoseiniin sekä kantaviin betonipilareihin. Tutkimukset tehdään maantasosta, mutta ylempien rakenteiden kunto määritetään silmämääräisesti. Etukäteen voidaan olettaa, että rakennuksen teräsrakenteet puretaan kokonaan käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä.

Tällä hetkellä vanha rikkivarasto toimii läheisen rakennustyömaan varastona. Tulevaisuudessa tontille on tarkoituksena rakentaa pysäköintilaitos sekä asuinrakennus. Työn tilaaja on Kalevala Rakennus Oy.

2 BETONIRAKENTEEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Betonirakenteen valmistusvaiheessa sekä ennen massan lujittumista tehdyt virheet, kuten puutteellinen betonin jälkihoito, vaikuttavat huomattavan paljon betonin laatuun ja ominaisuuksiin. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös betoniin kohdistuneet rasitukset, kuten lämpötilan vaihtelut. Betonissa tarvittavien suojahuokosten puutteesta johtuvat pakkasvauriot ovat ulkona olevissa betonirakenteissa merkittävin vaurion aiheuttaja. Pakkasvaurioita voidaan kompensoida betonin lujuudella. Betonirakenteen kuntotutkimuksilla voidaan selvittää, onko betoni vaurioitunut, ja pohtia syitä vaurioille. Luvuissa 2.1–2.8 kerrotaan betonirakenteen erilaisista tutkimusmenetelmistä sekä tutkimusmenetelmillä saatavista tiedoista. Kaikkia esiteltyjä tutkimusmenetelmiä ei käytetty opinnäytetyön kohdetta tutkittaessa.

2.1 Näytteenottomenetelmät

Lieriöporaus betonista timanttiporalla

Lieriöporaus on hyvin yleinen tekniikka betonin tutkimisessa, sillä näytteestä voidaan määrittää muun muassa karbonatisoitumissyvyys, veto- ja puristuslujuus sekä valmistaa ohuthienäyte. Lieriöporauksessa on tärkeää kiinnittää huomiota näytteenottoaikan valintaan sekä kohteesta riippuen likaroiskeiden minimoimiseen ja jälkien paikkaamiseen. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 118–119.)

Näytteenottoa varten timanttipora kiinnitetään tukevasti rakenteeseen, jotta näytteestä tulee tasainen eikä se vaurioidu porattaessa. Poratessa käytetään vettä, joten on suositeltavaa käyttää myös poraus-kaulusta ja vesi-imuria. Kun näyte on riittävän pitkä, se irrotetaan varovasti taltalla ja vasaralla. Näytteen tunnus merkitään sekä pohjapiirustukseen että itse näytteeseen. Näytteeseen on hyvä merkitä myös poraussuunta. Poratusta näytteestä on mitattava karbonatisoitumissyvyys mahdollisimman pian, jotta tulos olisi luotettava. Muita kokeita varten näyte suljetaan muovipussiin ja kuljetetaan laboratorioon tutkittavaksi. Porauksen jälkeen näytteelle tehdään lisäksi katselmus, jossa arvioidaan

näytteen soveltuvuutta ajateltuun testiin. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 118–119; Kääriäinen 2015.)

Näytejauheen poraaminen

Betonirakenteesta porataan näytejauhetta yleensä kloridipitoisuuden määrittämistä varten. Iskuporakoneella tehdystä reiästä kerätään porauksessa syntynyt jauhe talteen ja näytettä tutkitaan laboratoriossa. Jauhetta kerätessä iskuporakoneeseen liitetään pölynkerääjä, jonka avulla hienoinakin kiviaines saadaan tutkittavaksi. Näytteenottoa sekä porauksen aloitus- ja lopetussyvyys merkitään muistiin. Lisäksi selvitetään tarvittava näytteen määrä tutkivan laboratorion kanssa. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 102.)

2.2 Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimusta varten betonista otetaan noin 0,025–0,030 mm:n paksuinen näyteleike. Näytteet voidaan ottaa porauskappaleesta. Kuntotutkija määrittää, mistä kohdasta porausnäytettä ohuthie valmistetaan. Tarvittava tieto voidaan määrittää esimerkiksi aivan betonin pinnasta lähtien. Ohuthienäytteiden määrät vaihtelevat kohdekohtaisesti. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 107–109; Kääriäinen 2015.)

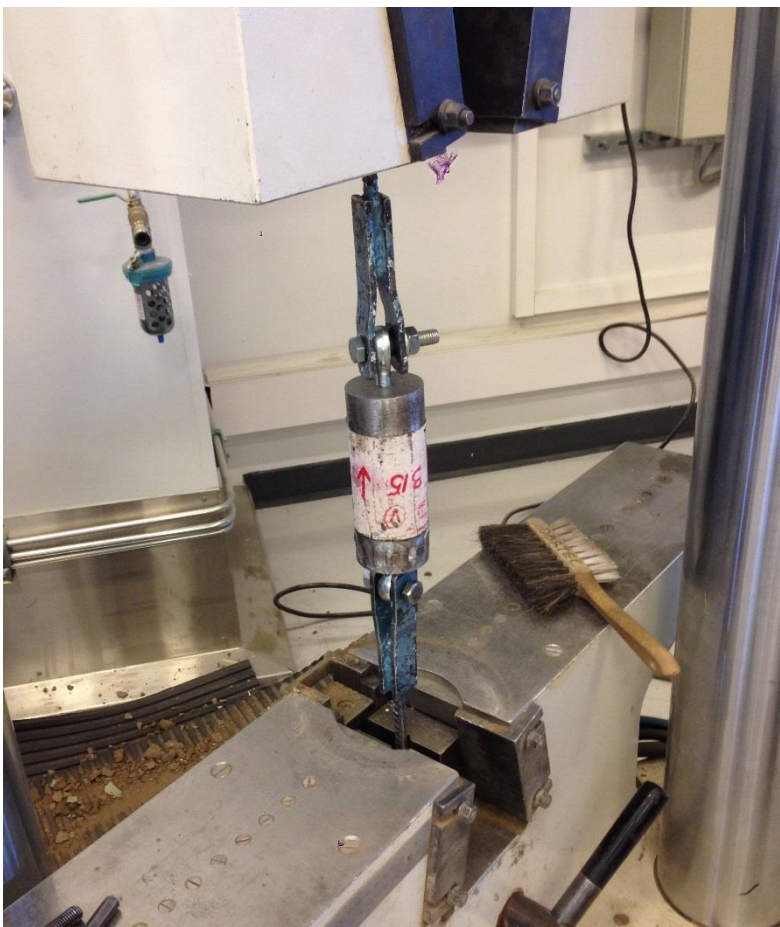
Näytettä tutkitaan polarisaatiomikroskoopilla. Siitä voidaan arvioida betonirakenteen pakkasenkestävyyttä ja huokosten täyteisyyttä sekä tutkia mahdollisia haitallisia reaktioita, kuten ettringiitti- ja alkalikiviainesreaktioita. Ohuthietutkimus on tärkeä tutkimus selvitettäessä betonirakenteen kuntoa, laatua ja mahdollisten vaurioiden laajuutta. Ohuthienäytettä voidaan pitää ikään kuin betonin röntgen-tutkimuksena. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 107–109; Kääriäinen 2015; Ohuthietutkimus.)

2.3 Vetokoe

Rapautuminen aiheuttaa betonirakenteeseen halkeilua, joka vaikuttaa betonin lujuuteen. Halkeilu alentaa etenkin vetolujuutta merkittävästi. Vetokokeella voidaan testata esimerkiksi pinnoitteiden tai paikkauslaastien tarttuvuutta kenttä-tutkimuksena, mutta tässä opinnäytetyössä vetokoe suoritettiin rakennekoekap-

paleilla laboratoriossa. Kokeen avulla tutkitaan rakenteen vetolujuutta. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 109.)

Vetokoetta varten rakenteesta porataan riittävä määrä rakennekoekappaleita, joiden molemmat päät hiotaan sileiksi. Kappaleen päihin liimataan vetolaitteen kappaleet. Näyte kiinnitetään vetolaitteeseen (kuva 1) ja laite ilmoittaa tuloksen koestuksen päätyttyä. Luotettavan tuloksen saamiseksi rakenteesta on otettava useita vetokoekappaleita. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 110.)



KUVA 1. Rakennekoekappale kiinnitettynä vetolaitteeseen

Koestetun kappaleen pinnalta tutkitaan, mistä kohdasta kappale murtui. Jos kappale on murtunut esimerkiksi suuremman kiven tai teräksen kohdalta, kannattaa kokeen luotettavuutta pohtia ja tehdä mahdollisuuksien mukaan lisäkokeita. Rapautumiseen viittaa usein myös kiviaineksen pintoja myötäilevä mur-

tuminen. Hyväkuntoinen betonirakenne murtuu usein suoraviivaisemmin ja rikkoo suurimpia kiviaineksia. Taulukkoa 1 voidaan käyttää apuna arvioitaessa betonirakenteen rapautumista. Taulukossa esitetään tyypilliset murtotavat- ja kohdat sekä vetolujuuden arvot eri rapautumisasteille. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 110–111.)

TAULUKKO 1. Vetolujuusarvojen tulkinta tavanomaisen julkisivubetonin tapauksessa (BY 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007, 21)

	Vetolujuus	Murtotapa ja kohta	Huomautuksia
Pitkälle edennyt rapautumaa	Luokkaa 0,5 MPa	- Kiviainesrakeiden pinta pitkin - Murtopinnalla saattaa esiintyä suolamuodostumia (leveät halkeamat) - Murtokohta usein lähellä pintaa	Tulkinta voi olla ongelmallista, jos - betonin vetolujuus on ollut alunperinkin heikko - kiviainena käytetty pyöreää luonnonkiviainesta
Jonkinasteista rapautumaa	Luokkaa 1,0 MPa	- Murto kiviainesrakeiden pinta pitkin - Murto usein lähellä pintaa	tai muutoin heikkolujuuksista kiviainesta - rakenteessa on muita esim. kuivumisesta tai
Ei rapautumista	Luokkaa 1,5 MPa tai yli	- Murto kiviainesrakeita rikkova - Murtopinta suora ja tasainen	kuormituksesta aiheutuneita halkeamia - näytteessä on raudoitusta

2.4 Puristuskoee

Betonin puristuslujuutta ei normaalisti määritetä kuntotutkimusten yhteydessä, sillä puristuslujuudesta ei voida päätellä vaurioiden olemassaoloa tai etenemistä. Tämän opinnäytetyön yhteydessä päätettiin kuitenkin tarkastaa betonin puristuslujuuden rakenteen kantavuuden varmistamiseksi, sillä käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä kuormitukset voivat muuttua oleellisesti. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 120.)

Puristuskoetta varten betonista otetaan satunnaisperiaatteella rakennekoekappaleita vähintään kolme kappaletta. Kappaleet toimitetaan laboratorioon, jossa niiden päät hiotaan suoriksi ja kappaleet mitataan. Koestuksen jälkeen laite ilmoittaa puristuslujuuden, josta lasketaan kappaleen pinta-alan avulla murtolujuus. Murtolujuus muutetaan lopuksi 150 mm särmäisen kuution lujuudeksi. 150 mm:n kuutiolujuus saadaan kertomalla yksittäiset lujuustulokset taulukon 2 kertoimilla. Kerroin riippuu näytteen halkaisijasta. Kahdesta osasta liimattujen näytteiden tulokset kerrotaan lisäksi kertoimella 1,05. (BY 50 Betoninormit 2012. 2011, 161.)

TAULUKKO 2. Murtolujuuden muuttaminen 150 mm:n kuutiota vastaavaksi, kertoimen valinta (BY 50 Betoninormit 2012. 2011, 161)

rakennekoekappaleen halkaisija, mm	yksittäisen lujuustuloksen kerroin
100 - 150	1,05
50 - 80	1,1
80 - 100	interpoloidaan lineaarisesti

2.5 Kimmovasaramittaus

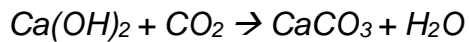
Kimmovasaralla saadaan määritettyä betonirakenteen suuntaa-antava puristuslujuus ainetta rikkomatta. Mittaus perustuu rakenteen puristuslujuuden ja pinnan kimmoisuuden suhteeseen. Tulokset eivät ole täysin luotettavia etenkin vanhassa rakenteessa, sillä mittaus kohdistuu rakenteen pintakerrokseen. Syvemällä rakenteessa olevaa rapautumista ei voida siis tutkia kimmovasaramittauksella. Kimmovasaratutkimuksen tuloksia voidaan parantaa noudattamalla mittauksista annettuja ohjeita. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 122.)

2.6 Karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen

Karbonatisoituminen tarkoittaa betonin neutraloitumisreaktiota. Karbonatisoitumissyvyyden mittaamisella kartoitetaan siis syvyys, johon asti betoni on menettänyt teräksensä korroosiolta estävän ominaisuutensa. Teräkseen korroosion myötä muodostuva ruoste aiheuttaa painetta betoniin, jolloin betoni vaurioituu. Näkyviä vaurioita ovat esimerkiksi betonipinnan halkeilu ja ruosteläikät. (Betonin karbonatisoituminen. 2010; BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 97; RT 82–10604. 1996, 5.)

Terminä karbonatisoituminen tarkoittaa sementtireaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidiyhdisteen reagointia ilman hiilidioksidin kanssa. Reaktion syntyminen vaatii lisäksi kosteutta. Ulko- ja sisäilman hiilidioksidimäärä on lähes sama, mutta ulkoilmassa kosteutta on riittävästi reaktiota varten. Tämän vuoksi karbonatisoituminen on yleensä nopeampaa rakennuksen ulkopuolella. Karbonatisoi-

misen reaktioyhtälö on esitetty kaavassa 1. (BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. 2007, 12; Kääriäinen 2015.)



KAAVA 1

Karbonatisoitumissyvyys mitataan yleensä rakennekoekappaleen pinnalta, mutta tässä opinnäytetyössä mittaus suoritettiin lisäksi iskuporakoneella tehdystä reiästä. Reikää porataan muutama milli kerrallaan ja välissä reikään suihkuteaan indikaattoriliuosta. Indikaattoriliuoksen sisältämä fenoliftaleiini värjää karbonatisoitumattoman betonin (pH 13–14), jolloin karbonisoituneen betonin (pH noin 8) paksuus voidaan mitata työntömitalla. Luotettavat mittaustulokset saadaan ottamalla riittävä määrä näytteitä jokaisesta pinta- ja rakennetyypistä. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 97–99; Kääriäinen 2015.)

Rakennekoekappaleen pinnalta mitatessa karbonatisoitumissyvyys on mitattava mahdollisimman pian näytteen poraamisen jälkeen. Näytteen pintaan suihkuteaan indikaattoriliuosta ja tulokset voidaan mitata välittömästi värjäytyneen pinnan mukaan. Tuloksiin on otettava vähintään suurin ja pienin arvo, joiden avulla keskiarvo voidaan määrittää. Tulokset voivat vaihdella suurestikin rakenteen kiviaineksen koon ja halkeamien mukaan. (Kääriäinen 2015.)

2.7 Raudoitteiden peitepaksuuden määrittäminen

Raudoitteiden peitepaksuuksia tutkitaan, jotta voidaan määrittää karbonisoitumisesta johtuvalle korroosiolle alttiiden raudoitteiden määrä ja laajuus. Peitepaksuus voidaan määrittää tutkimukseen suunnitellulla peitepaksuusmittarilla. Mittari havaitsee sähkömagneettisen induktion avulla magneettiset raudoitteet ja määrittää niiden syvyyden mitatusta pinnasta. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 100.)

Luotettavien tulosten saamiseksi laitteeseen on syötettävä kyseessä olevien raudoitteiden halkaisija ja mittalaite on kalibroitava ennen mittausten aloittamista. Raudoitteiden halkaisijat voidaan tarkastaa rakennuksen piirustuksista. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 100.)

Mittausarvoja tulee olla runsaasti jokaisesta rakenne- ja raudoitetyypistä. Jos peitepaksuudet havaitaan liian ohuiksi jo tutkimusten alkuvaiheessa, voidaan mittausarvojen määrää alentaa. Mittausarvoja voidaan pitää kohtuullisina, mikäli mitattujen peitepaksuuksien arvot ovat lähellä toisiaan. Mittauskohtien valinnassa kannattaa ottaa myös huomioon riittävä laajuus, jotta rakennusaikaiset laatu- vaihteluista aiheutuneet virheet saadaan eliminoitua. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 101.)

2.8 Kloridipitoisuuden määrittäminen

Kloridipitoisuuden määrittäminen betonirakenteista on tärkeä osa kuntotutkimusta, sillä kloridit aiheuttavat korroosiota jo pieninä pitoisuuksina ja nopeuttavat karbonatisoitumisen aiheuttamaa korroosiota huomattavasti. Kloridikorrosio vaatii usein raskaan korjauksen, joten on tärkeää, että kloridipitoisuus tarkastetaan vähintään pistokokein ympäri rakennusta. Kloridipitoisuuden määrittämisessä meren rannalla kannattaa lisäksi tutkia, mistä kloridit ovat peräisin. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 102.)

Mikäli pitoisuus on lähes sama läpi rakenteen, voidaan olettaa kloridien olevan peräisin valmistuksesta. Jos pitoisuus vastaavasti vaihtelee tai pienenee syvemmälle mentäessä, voidaan olettaa kloridien olevan peräisin ulkoisesta rasituksesta. Ulkoisia rasituksia voivat olla esimerkiksi tuulen mukana tullut merivesi tai liikenteen mukana kulkeutunut suola. Ulkoisten rasitusten aiheuttamia kloridipitoisuuksia tutkitaan laajemmin ja eri syvyyksiltä. (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 102.)

Laboratoriokokeita varten betonista porataan vähintään 15 g näytejauhetta. Jauheen kloridipitoisuus määritetään laboratoriossa titraamalla. Titrattava näyte valmistetaan lisäämällä näytejauheeseen tislattua vettä, väkevöityä typpihappoa sekä kuumaa vettä. Näyte sekoitetaan hyvin ja annetaan jäähtyä. Jäähtyneestä seoksesta suodatetaan jauhe pois. Seokseen lisätään lisäksi hopeanitraattia, bentsyylialkoholia sekä ferriammoniumsulfidiliuosta. Sekoituksen jälkeen seos on valmista titrattavaksi. (SFS-EN 14629. 2007; SFS 5451. 1988.)

Valmis seos asetetaan magneettisekoittimeen ja seosta titrataan ammoniumtiosyanaattiliuksella. Kun seoksen väri muuttuu pysyvästi punertavaksi, titraus on valmis. Kloridipitoisuus voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti (SFS 5451. 1988). Kloridipitoisuuden kynnysarvo on noin 0,03–0,07 painoprosenttia. Todellinen kynnysarvo vaihtelee kuitenkin muun muassa betonin tiiveyden, alkalisuuden ja sementtimäärän mukaan. Kloridipitoisuus ei ole merkittävä, mikäli se on alle 0,01 painoprosenttia. (Kääriäinen 2015; SFS-EN 14629. 2007.)

$$Cl^- = 3,545 \frac{V_1 N_1 - V_2 N_2}{m} \text{ paino} - \%$$

KAAVA 2

V_1 = lisätty hopeanitraattiliuos, ml

N_1 = hopeanitraattiliuksen normaalisuus

V_2 = titrauksessa käytetty ammoniumtiosyanaattiliuos, ml

N_2 = ammoniumtiosyanaattiliuksen normaalisuus

m = osanäytteen massa, g

3 VARASTORAKENNUS K21:N KUNTOTUTKIMUS

Tutkimuksen kohteena oli Oulun Toppilassa sijaitseva varastorakennus K21 (kuva 2). Varasto on rakennettu vuonna 1956 ja sitä on laajennettu vuonna 1960. Varaston seinät ja alapohja ovat betonirakenteiset ja yläpohja teräsraken- teinen. Eri vuosina rakennettujen osien välillä on paksu betoninen väliseinä. Alun perin rakennus on suunniteltu Rikkihappo Oy:n käyttöön ja sisällä on edel- leen vanhat kiskojen varassa liikkuvat hallinosturit. Rakennuksen lounaan puo- leisella sivulla on aikoinaan kulkenut junarata, joten tavarajunat on voitu lastata suoraan varastosta.



KUVA 2. Varastorakennus K21

Tutkimukset tehtiin otantana koko rakennuksesta yhteistyössä Oulun ammatti- korkeakoulun Korjausrakentamisen kuntotutkimukset 2 –opintojakson oppilai- den kanssa. Mittaukset suoritettiin maan tasosta eli noin 0–2 metrin korkeudel- ta. Ohuthietutkimuksia varten poratut rakennekoekappaleet lähetettiin WSP Fin- land Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Luvussa 3.2 käsitellyt tulokset pohjau-

tuvat WSP:n tutkimusraporttiin. Tutkimusraportti on luettavissa kokonaisuudessaan liitteestä 1.

Näytteenottopaikat ja näytteet on nimetty pohjapiirustukseen tehtyjen moduulilinjojen mukaan. Moduulilinjat on esitetty liitteessä 2. Pohjapiirustuksen ja moduulilinjojen ympärille on sijoitettu tutkimustulokset näytteenottopaikkojen mukaan ja ne on merkitty eri värein. Punainen väri tarkoittaa heikkoa tulosta, keltainen tyydyttävää ja vihreä hyvää. Ohuthienäytteiden osalta liitteessä 2 on sanallinen yleisarvio. Karbonatisoitumissyvyyksien ja peitepaksuuksien keskiarvot on esitelty liitteen toisella sivulla. Pilarin H15 karbonatisoitumissyvyyttä ei ole tutkittu, joten laskelmissa on käytetty pilarin I15 tulosta.

Luvuissa 3.1–3.7 kerrotaan, mitä tutkimuksia tehdessä havaittiin ja mitä tuloksista voidaan päätellä. Silmämääräisen tutkimisen lisäksi rakennetta tutkittiin ohuthienäytteistä. Rakenteesta mitattiin myös karbonatisoitumissyvyyksiä ja kloridipitoisuuksia sekä raudotteiden peitepaksuuksia. Rakenteesta poratuista rakennekoekappaleista tutkittiin lisäksi kappaleen puristus- ja vetolujuutta. Lopuksi luvussa 3.8 kerrotaan tulosten kriittisestä arvioinnista.

3.1 Silmämääräinen tutkiminen

Silmämääräisesti tutkittaessa betonirakenteiden todettiin olevan erittäin huonossa kunnossa. Kuten kuvista 3 ja 4 voidaan havaita, useissa pilareissa ja välipohjassa on ruosteläikkiä, joista voidaan erottaa jopa hakasten kohdat. Betonirakenne on lisäksi lohkeillut teräskorroosion vaikutuksesta ja ruosteisia raudotteita on näkyvillä ympäri rakennusta. Rakennus on joutunut myös ilkvallan kohteeksi, sillä seinissä on useita maalauksia.

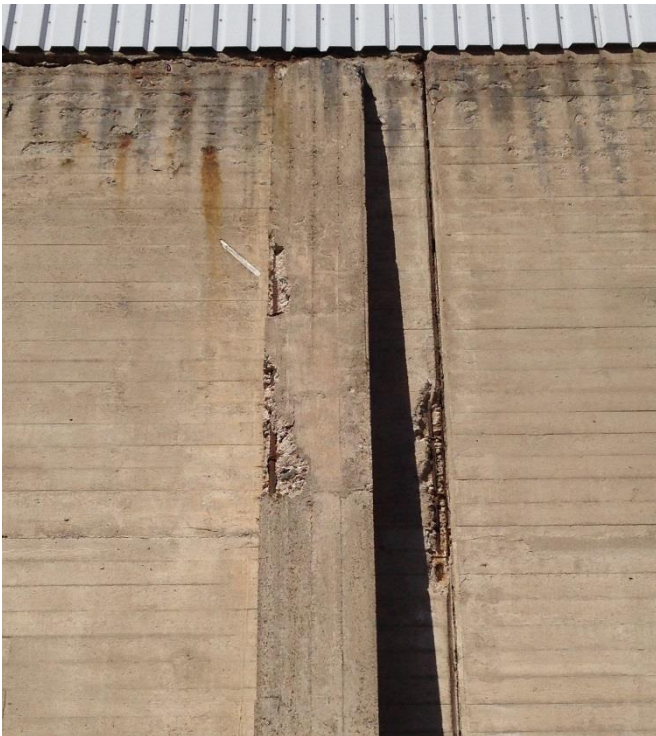


KUVA 3. Yleisnäkömä lounaan puoleisista pilareista



KUVA 4. Ruosteläikkiä ja näkyviä raudoitteita välipohjassa

Rakennuksen lounaispuolella vanhan junaradan jäänteet näkyvät maassa. Vie-ressä kulkevan autotien ja rakennuksen väliin on tehty korotettu kevyenliikenteenväylä, minkä vuoksi junarata on selvästi alempana. Tämä johtaa sulamis- ja sadevesien lammikoitumiseen vanhan junaradan kohdalle sekä pilareiden ja seinän alaosaan. Peltikatetta tutkittaessa havaittiin, että rakennuksen räystäät ovat hyvin pienet eikä sadevesien ohjausta ole. Peltikatteen ja betonirakenteen välillä ei ole minkäänlaista tippalistaa, joten sadevedet ovat aiheuttaneet kuvas-
sa 5 näkyviä valumajälkiä betoniin.



KUVA 5. Näkyviä raudoitteita pilarissa ja seinässä sekä valumajälkiä betonin ja peltikatteen rajapinnassa

Betonirakenteiden kunto on vaihteleva. Osa pilareista ja seinistä on melko hyväkuntoisia, mutta useissa on vähintään halkeilua. Joistakin pilareista on jopa halkeillut suuria palasia, jolloin raudoitteet ovat näkyvillä (kuva 6). Kuntotutkimuksissa tutkittiin lähinnä rakennuksen ulkopuolisia betonirakenteita maantasosta. Maantasossa silmämääräisesti tarkasteltuna havaittiin enemmän betonirakenteen halkeilua, kun taas ylempänä havaittiin runsaasti ruosteläikkiä. Vauriot ja niiden vakavuus voivat vaihdella runsaastikin eri kohdissa rakennetta.



KUVA 6. Halkeilua, ruosteläikkiä ja maalauksia lounaan puoleisissa pilareissa

Rakennukseen on useita ulko-ovia ja uudempi puoli on erotettu vanhasta betonirakenteisella väliseinällä. Lounaan puoleiset ulko-ovet eivät ole käytössä ja koillisen puolella useat vanhat ovet on korvattu uusilla. Rakennuksen sisältä tarkasteltuna betonirakenteiden kunto vaihtelee vanhemman ja uudemman puolen välillä. Vanhemmalla puolella betonirakenteet ovat sisältä erittäin huonokuntoisia. Etenkin pilareiden yläosissa voidaan havaita betonipeitteen halkeilua ja näkyviä raudoitteita. Myös rakennuksen sisällä todettiin olevan runsaasti ruosteläikkiä.

3.2 Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimusta varten betonista porattiin rakennekoekappaleita ja näytteet lähetettiin tutkittavaksi WSP Finland Oy:n laboratorioon. Näytteitä oli yhteensä kuusi kappaletta, joista yksi oli koillisen puoleisesta ulkoseinästä ja loput pilareista eripuolilta rakennusta. Kaikki näytteet porattiin rakennuksen ulkopinnoilta. Laboratoriossa karbonatisoitumissyvyys tarkastettiin halkaistun näytekappaleen pinnalta ja näytekappaleesta valmistettiin 48 x 25 mm:n kokoinen ohuthienäyte.

Kaikki ohuthienäytteet valmistettiin pintaa vastaan kohtisuorasti ulkopinnasta lähtien.

Raportissa todetaan, että näytteiden kunto on vaihteleva. Näytteissä havaittiin paikoin teräskorroosiota ja bikarbonatisoitumista, jotka aiheuttavat rapautumista. Suurimmaksi ongelmaksi todettiin kuitenkin laatu, joka on useassa näytteessä yleisarviolta välttävä. Välttävä laatu johtuu epätasalaatuisuudesta sekä korkeasta vesi-sementtisuhteesta, jotka ovat aiheuttaneet muun muassa massan epätasaista tiivistymistä.

Betonirakenteessa vaihtelevat tiiviimmät ja huokoiset alueet. Epätasainen tiivistyminen betonoinnin aikana on aiheuttanut lisäksi betonin pintaan tiivistyshuokosia ja kapeampia tartuntasäröjä, jotka heikentävät tartuntoja huomattavasti. Heikentyneet tartunnat voivat raportin mukaan vaikuttaa myös joidenkin kappaleiden vetolujuuteen. WSP:n arvion mukaan rakenteet eivät ole pakkasenkestäviä kosteusrasituksessa. Tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu kosteusrasitukseen viittaavia kiteytymiä eikä pakkasrapautumista.

Korkea vesi-sementtisuhte vaikuttaa karbonatisoitumisen etenemiseen syvälle betoniin ja voi lisäksi aiheuttaa ns. bikarbonatisoitumista. Bikarbonatisoituminen tekee sideaineesta hauraan ja huokoisemman verrattuna normaaliin karbonatisoitumiseen. Etenkin rakennuksen länsikulmalta otettu näyte H1 on voimakkaasti rapautunut ja bikarbonatisoituminen on muuttanut sideaineen alkuperäistä rakennetta.

Koillisen puoleisesta seinästä otetussa näytteessä B4–B5 karbonatisoituminen on edennyt teräksiin asti ja teräskorroosio on alkanut. Karbonatisoitumisen etenemistä on nopeuttanut kuitenkin pinnan vastainen säröily, joka WSP:n arvion mukaan on syntynyt jo betonin varhaisvaiheessa plastisen säröilyn aiheuttamana. Plastista säröilyä havaittiin myös rakennuksen toiselta puolelta otetusta näytteestä I11. Muutoin säröilyn todetaan olevan vähäistä.

Näytteissä on vaihtelevasti yksi- tai kaksikerroksinen laastipinnoite ja kahdessa näytteessä laastipinnoitetta ei ole ollenkaan. Karbonatisoituminen on edennyt laastikerrosten läpi. Laastipinnoitteen kiviaineksessa ei havaittu merkittävää

rapautumista, mutta kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat paikoittain huonot huokoisuuden vuoksi. WSP:n tulkinnan mukaan näytteissä B4–B5 ja I11 havaitun plastisen säröilyn rikkomaa betonipintaa on yritetty korjata laastikerroksilla.

Raportin mukaan laasteissa ei pääosin ole havaittavissa säröilyä tai muita rapautumisen merkkejä, paitsi näytteessä H1, jonka sisempi laastikerros on säröillyt ja pinta rapautunut. Kyseisten säröilyjen todetaan kuitenkin aiheutuvan todennäköisemmin betonityövirheestä kuin rapautumisesta.

3.3 Vetolujuuden määrittäminen

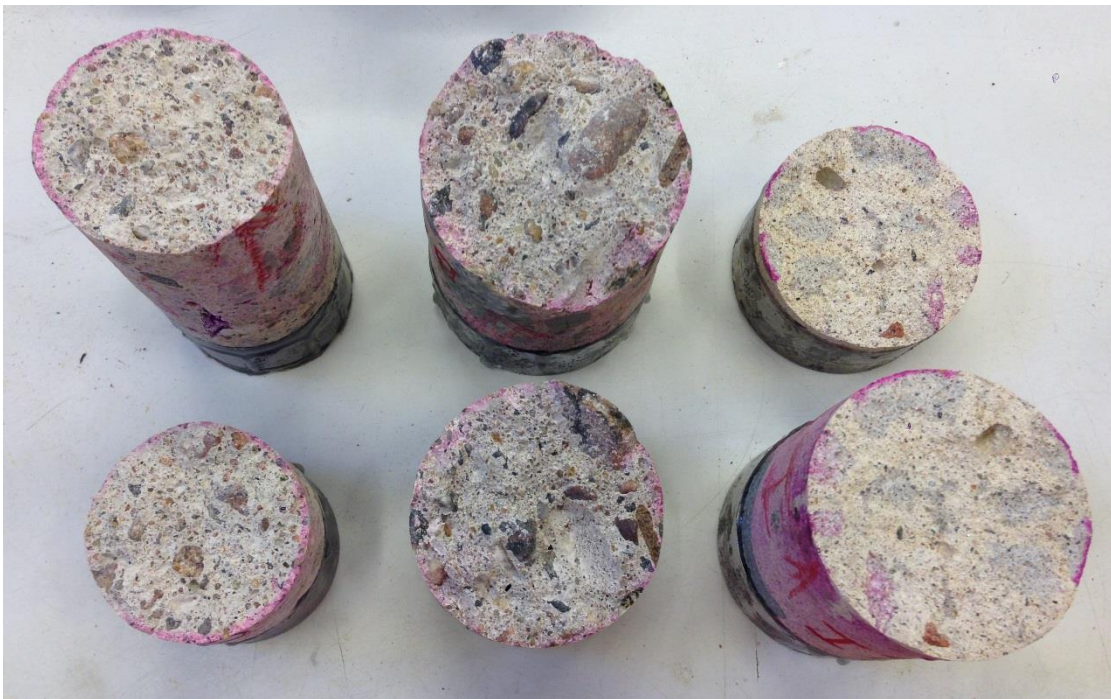
Taulukossa 3 esitetyt vetokokeiden tuloksia voidaan tulkita taulukon 1 (sivulla 11) mukaisesti. Tulosten perusteella ainoastaan pilarista I1 otetussa näytteessä on alkavaa rapautumaa. Muiden näytteiden tulokset ylittävät taulukossa 1 mainitun 1,5 MPa, joten niissä ei oletettavasti ole tapahtunut merkittävää rapautumista. Näytteet on otettu suurimmaksi osaksi rakennuksen koillispuolelta, joten tulosten luotettavuuden takaamiseksi voitaisiin tehdä lisätutkimuksia eri puolilta rakennusta.

TAULUKKO 3. Vetokokeiden tulokset sekä murtokohtat ulkopinnasta

moduulilinja	Ø	vetolujuus kN	murtolujuus N/mm ²	murtokohta näytteen ulkopinnasta	
				MIN mm	MAX mm
B4-B5	75	10,47	2,4	42	62
A5	50	4,78	2,4	17	26
A11	50	4,38	2,2	41	51
B15	60	4,22	1,5	17	26
B21	60	9,88	3,5	77	87
I1	75	5,67	1,3	2	10

Rakennekoekappaleiden murtokohtat on mitattu vetokokeen jälkeen ulkopinnasta lähtien. Taulukossa 3 on lueteltuna jokaisen kappaleen murtokohdan maksimi- ja minimikohdat, joiden perusteella voidaan päätellä murtopinnan tasaisuutta. Yleisesti murtopinnat olivat hyvin tasaisia ja murtolujuudet suuria, mitkä viittaavat hyvälaatuiseen betoniin. Murto on kuitenkin useissa näytteissä myötäillyt suurempia kiviaineksia.

Kuvasta 7 voidaan havaita kolmen eri rakennekoekappaleen erilaiset murtopinnat ja -tavat sekä massojen epätasalaatuisuus. Vasemmanpuoleisessa rakennekoekappaleessa (pilari B21) kiviaines on levittynyt massaan tasaisesti ja on kooltaan pientä. Osa isommasta kiviaineksesta on haljennut vetokokeessa. Keskimmaisessä kappaleessa (seinä B4–B5) kiviaines on vaihtelevan kokoista, mutta murtopinta myötäilee suurimpia kiviaineita. Osa kiviaineesta on kuitenkin haljennut ja murtopinta on suhteellisen tasainen. Oikean puoleinen rakennekoekappale (pilari I1) on murtunut lähes pinnasta, eikä siinä ole havaittavissa juurikaan suuria kiviaineita. Näytteen toisessa osassa, joka on sijainnut syvemmällä rakenteessa, on porauspinnalla havaittavissa suuria kiviaineita, josta voidaan päätellä massan olevan hyvin epätasaista. Näytteen murtolujuus oli hie- man muita pienempi ja kyseisen pilarin betonin kunto on todettu myös muissa kokeissa poikkeavan heikoksi.



KUVA 7. Rakennekoekappaleiden B21, B4–B5 ja I1 murtopinnat ja -kohdat

3.4 Puristuslujuuden määrittäminen

Puristuslujuuden testausta varten rakenteesta otettiin halkaisijaltaan 60 mm:n kokoisia rakennekoekappaleita. Kappaleita oli yhteensä neljä, joista kolme rakennuksen koillispuolen pilareista ja yksi kaakon puoleisesta päätyseinästä.

Rakennusaikaista puristuslujuuden nimellislujuutta ei tiedetä. Vuoden 1954 betoninormien mukaan teräsbetonin lujuusluokan tuli olla vähintään K20 ja vuoden 1965 betoninormien mukaan vähintään K25 (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 12). Voidaan siis olettaa, että rakenteet on mitoitettu kyseisten normien mukaisesti.

Puristuskokeiden tuloksia on käsitelty taulukossa 4. Taulukkoon on laskettu 150 mm:n kuutiolujuus kertomalla rakennekoekappaleen murtolujuus taulukosta 2 (sivulla 12) valitulla kertoimella. Tulosten perusteella betonirakenteen puristuslujuudet ovat erittäin hyviä, sillä jokaisen näytteen 150 mm:n kuutiolujuus ylittää tavoitellun 20 MPa:a reilusti. Testin alin lujuus oli 49,8 MPa ja suurin 86,4 MPa, joka vastaa jopa korkealujuusbetonille asetettuja vaatimuksia. Rakennuksen betonirakenteet eivät kestä pakkasrasitusta, mutta suurilla lujuuksilla voidaan kompensoida mahdollisia pakkasvaurioita. Kokeita voidaan tarvittaessa laajentaa myös rakennuksen lounaispuolelle, mutta tätä opinnäytetyötä tehtäessä sille ei ilmennyt tarvetta.

TAULUKKO 4. Puristuskokeiden tulokset

moduulilinja	∅	puristuslujuus kN	murtolujuus N/mm ²	150 mm:n kuutiolujuus N/mm ²
A2	60	222	78,5	86,4
A11	60	137	48,5	53,3
A21	60	128	45,3	49,8
B23-C23	60	157	55,5	61,1

3.5 Karbonatsoitumissyvyyden mittaaminen

Karbonatsoitumissyvyys mitattiin sekä rakennekoekappaleen pinnalta että poratuista yksittäisistä rei'istä. Kappaleen pinnalta mitattiin karbonatsoituneen osan maksimi- ja minimiarvot ja laskettiin niiden keskiarvo. Yksittäisiä reikiä porattiin 2–3 kappaletta ja karbonatsoitumissyvyyksien keskiarvo laskettiin.

Karbonatsoitumissyvyyden perusteella laskettiin karbonatsoitumiskerroin, jonka avulla määritettiin oletettava karbonatsoitumissyvyys viiden ja kymmenen vuoden kuluttua. Raudoitteiden peitepaksuuksien ja karbonatsoitumissyvyyden tuloksia vertaamalla voidaan tulkita, kuinka suuri osa raudoitteista on korroosiol-

le alttiissa syvyydessä. Liitteessä 3 on taulukoituna karbonatsoituneessa syvyydessä sijaitsevien raudoitteiden osuus nykyhetkellä sekä viiden ja kymmenen vuoden kuluttua. Karbonatsoituneessa syvyydessä sijaitsevien raudoitteiden osuuksia ei ole laskettu, mikäli mittaustuloksia on alle kymmenen. Liitteen 3 taulukossa on myös tutkittavan moduulilinjan raudoitteiden peitepaksuuksien sekä karbonatsoitumissyvyyksien keskiarvot tällä hetkellä. Tulokset ovat jaettu tutkittavan moduulilinjan pääterästen ja hakasten mukaan. Poikkeuksena taulukossa pilari H15, jonka laskelmissa on käytetty pilarin I15 karbonatsoitumissyvyyden keskiarvoa, sillä pilarista H15 ei tehty karbonatsoitumissyvyyden määrittystä.

Karbonatsoitumissyvyyksien keskiarvot on merkitty myös liitteen 2 toiselle sivulle moduulilinjojen mukaisesti. Kyseisestä piirustuksesta voidaan havaita, että karbonatsoituminen on edennyt hieman hitaammin moduulilinjoilla A ja I eli alueilla, jotka ovat alttiina muun muassa sateelle. Rungon kosteus hidastaa karbonatsoitumista huomattavasti. Muista tuloksista poiketen pilarin I11 karbonatsoitumissyvyyden keskiarvo on 50,5 mm. Tuloksista selviää, että karbonatsoitumissyvyyden keskiarvot vaihtelevat 2,5 mm:n ja 50,5 mm:n välillä. Huomattavat poikkeamat muista tuloksista voivat johtua esimerkiksi mittausvirheestä tai karbonatsoitumissyvyyden vaihtelevuudesta.

3.6 Raudoitteiden peitepaksuuden määrittäminen

Raudoitteiden peitepaksuuksia mitattiin rakennuksen ulkopuolelta näkyvissä olevista pilareista sekä muutamasta kohdasta seinästä. Pilareiden osalta raudoitteista tutkittiin pystysuoria pääraudoitteita ja vaakasuoria hakoja. Peitepaksuuksia tutkittaessa laitteeseen on syötettävä tutkittavan raudoitteen halkaisija, mutta tutkittavasta rakennuksesta ei löytynyt raudituspiirustuksia.

Raudoitteiden halkaisijat arvioitiin näkyvien raudoitteiden perusteella. Pääterästen halkaisijaksi arvioitiin 32 mm ja hakaraudoitusten halkaisijaksi 10 mm. Myöskään suunniteltua suojabetonin paksuutta ei ollut tiedossa, mutta vuoden 1954 betoninormeissa suojabetonin paksuudeksi on vaadittu vähintään 20 mm (BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013, 12). Suunnitellun suojabetonin paksuuden voidaan siis olettaa olleen noin 20 mm.

Liitteen 3 taulukossa esitettyjen tutkimustulosten perusteella raudoitteiden peitepaksuuksien keskiarvot ylittävät betoninormeissa vaaditun 20 mm reilusti, lukuun ottamatta pilarin I7 hakasia. Muutamit yksittäisistä mittaustuloksista alittavat vaaditun arvon. Peitepaksuuksien keskiarvot vaihtelevat 16,6 mm:n ja 71,1 mm:n välillä. Yksittäiset mittaukset ovat pienimmillään pääterästen osalta 13 mm ja hakasten osalta 0 mm. Aivan rakenteen pinnassa oleva raudoite on rikkonut betonipeitteen korroosion vaikutuksesta. Kyseinen tulos on kuitenkin hyvin poikkeava muihin tuloksiin verrattuna.

Liitteen 2 toisella sivulla on kirjattuna peitepaksuusmittausten minimi-, maksimi- ja keskiarvot moduulilinjojen mukaan sijoiteltuna. Tulosten perusteella alle vaaditun 20 mm peitepaksuuden jäävät muutamit tulokset ympäri rakennusta. Tarkkaa kohtaa ei ole havaittavissa. Keskiarvoista ainoastaan pilarin I7 tulos jää alle 20 mm, joten yleisellä tasolla tulokset ovat hyviä.

Tutkimustuloksista voidaan tulkita, että karbonatisoituneella alueella sijaitsevia raudoitteita on hyvin vähän tällä hetkellä. Korroosiolle alttiita ovat vain osa haka-raudoitteista ja muutamit yksittäiset pääteräkset. Viiden vuoden kuluttua karbonatisoituminen saavuttaa mahdollisesti lisää raudoitteita, joten korjaustoimenpiteisiin on ryhdyttävä. Vaikka tulokset osoittavat raudoitteiden olevan riittävästi syvällä eikä korroosiota pitäisi esiintyä kovin paljoa, voidaan raudoitteiden korroosion todeta alkaneen useissa kohdissa rakennusta pelkän silmämääräisen tutkimuksen perusteella.

3.7 Kloridipitoisuuden määrittäminen

Kloridipitoisuutta tutkittiin kattavasti ympäri rakennusta. Näytteitä otettiin sekä pilareista että seinistä ja tutkittiin yhteensä 16 kappaletta. Mitatut kloridipitoisuudet on esitetty taulukossa 5 painoprosentteina betonin painosta.

TAULUKKO 5. Näytejauheesta titraamalla määritetyt kloridipitoisuudet

moduulilinja	kloridipitoisuus paino-% betonin painosta	uusintamittaus paino-% betonin painosta
A2	0,02	
A5	< 0,01	
B10	0,03	
B10	0,02	
B15	0,02	
B21	< 0,01	
C23	< 0,01	
H1	0,04	
I1	0,14	0,16
H6	0,03	
H7	0,05	
I11	< 0,01	
H15	< 0,01	
B20-B21	< 0,01	
B23-C23	< 0,01	
H5-H6	0,23	0,69

Taulukossa 5 esitetyt tulokset olivat yleisellä tasolla hyvät, sillä kloridipitoisuus jäi useissa kohdissa alle 0,01 painoprosentin. Ainoat hälyttävän suuret poikkeamat tulivat moduulilinjojen I1 pilarista (0,14 painoprosenttia) sekä H5–H6 seinästä (0,23 painoprosenttia). Koillisen puoleisella seinustalla pilareiden kloridiarvot vaihtelevat välillä <0,01–0,3 painoprosenttia ja lounaan puoleisten pilareiden <0,01–0,14.

Suurimmat kloridipitoisuudet mitattiin rakennuksen länsikulmalta. Tämä voi johtua rakennuksen lounaan puolella sijaitsevasta yleisestä autotiestä ja sen suo-
laamisesta. On myös mahdollista, että tuulen mukana on kulkeutunut enemmän merivettä kyseiselle puolelle rakennusta. Seinästä otetusta näytteestä saatu poikkeavan suuri tulos voi johtua esimerkiksi varastoidusta kloridipitoisesta aineesta, jota on päässyt imeytymään seinärakenteeseen.

Pilarista I1 ja seinästä H5–H6 saadut hälyttävän suuret kloridipitoisuudet tarkas-
tettiin titraamalla uudestaan. Molempien näytteiden näytejauheen määrää pie-
nennettiin edelliseen testiin verrattuna, jotta tulokset olisivat entistä tarkemmat.
Tulosten perusteella molempien näytteiden kloridipitoisuus osoittautui yhä suu-

remmaksi. Pilarissa I1 uudestaan mitattu kloridipitoisuus oli 0,16 painoprosenttia ja seinässä H5–H6 tulos oli 0,69 painoprosenttia.

3.8 Kuntotutkimustulosten kriittinen arviointi

Tuloksia tarkasteltaessa ja sovellettaessa on huomioitava, että mittaukset on suoritettu maan tasosta eli noin 0–2 metrin korkeudelta. Betonirakenteiden kunto voi vaihdella suurestikin eri korkeuksilla, etenkin kun massojen on todettu olevan epätasalaatuksia. Näytteitä pyrittiin ottamaan tasaisesti ja kattavasti ympäri rakennusta, mutta esimerkiksi puristuslujuuskoetta varten otetut näytteet ovat kaikki rakennuksen koillispuolelta. Tällöin tulosten soveltaminen voi olla haastavaa ja tilaajaa kehotetaan lisätutkimuksiin tulosten varmistamiseksi.

Myös tutkimuksiin osallistuneiden opiskelijoiden erilaiset mittaustavat ja niistä aiheutuvat mittausvirheet voivat vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Osa mittaus-tuloksista on hylätty mittausten epäluotettavuuden vuoksi. Esimerkiksi peitepak-suusmittauksissa luotettavat tulokset vaativat useita mittaustuloksia ja tarkat kirjaukset mittauspaikoista. Puutteellisia ja väärin mitattuja tuloksia jouduttiin hylkäämään, jotta lopullisten tulosten luotettavuus ei kärsisi. Osa puutteellisista tuloksista on kirjattu, mutta niitä voidaan pitää ohjeellisina.

4 TUTKIMUSTULOSTEN SOVELTAMINEN KOKO RAKENNUKSEEN

Asemakaavassa varastorakennus K21:n kohdalla on merkintä sr/ur, joka tarkoittaa säilytettävä rakennus/uusi rakennus. Uuden rakennuksen on siis oltava mitoiltaan ja hahmoltaan entisen kaltainen. Uudisrakennuksen on myös sovittava ympäristöönsä eikä olemassa olevaa rakennusta saa purkaa ennen kuin uudelle on saatu rakennuslupa. Asemakaavassa on myös merkintä LPA-1, joka tarkoittaa, että tontille voidaan sijoittaa pysäköintilaitos. (Asemakaavamääräykset ja –merkinnät. 2014, 13, 46.)

Asemakaavan merkinnät rajoittavat olennaisesti kohteen korjaamista tai uuden rakennuksen rakentamista vanhan tilalle. Korjaus- ja purkupäätökseen vaikuttavat luonnollisesti myös kustannukset. Kuntotutkimuksilla on tarkoitus selvittää, onko kohteen korjaus ylipäättään mahdollista ja onko se turvallisuuden, aikataulun sekä kustannusten kannalta järkevää.

Luvuissa 4.1–4.3 pohditaan kolmannen luvun tulosten perusteella, mitkä asiat tukevat purkamispäätöstä ja mitkä korjauspäätöstä. Lisäksi esitellään käyttöikämitoitukseen vaikuttavia tekijöitä sekä vaihtoehtoisia korjausmenetelmiä. Korjausmenetelmät on valittu oletuksella, että rakenne kannattelee tulevaisuudessa vain nykyiset kuormat ja uusi rakenne rakennetaan vanhan sisälle. Luvussa 4.4 kerrotaan, millaisia lisätutkimuksia olisi syytä tehdä tulevaisuudessa.

4.1 Päätöksentekoon vaikuttavat asiat

Rakennuksen korjaus- tai purkamispäätökseen vaikuttavat pääasiassa kustannukset sekä rakennuksen käyttöikä. Lähes kaikkien päätökseen vaikuttavien seikkojen voidaan ajatella liittyvän kustannuksiin. Myös turvallisuus ja vaikutukset ympäristöön on huomioitava päätöstä tehtäessä.

Vaikka varastorakennus K21 on silmämääräisesti tutkimalla erittäin huonossa kunnossa, laboratoriossa tehdyt tutkimukset osoittavat päinvastaista. Laboratoriotulokset tukevat korjauspäätöstä. Testatut puristuslujuudet ovat korkealujuusbetonin luokkaa ja vetolujuudet osoittavat, ettei rakenteessa ole merkittävää

rapautumaa. Lisäksi korroosiotarkastelun perusteella karbonatisoituneella alueella on hyvin vähän teräksiä. Ohuthietutkimuksessa rakennetta tarkasteltiin tarkemmin ja WSP Finland Oy:n raportin mukaan suurimmaksi ongelmaksi osoittautui laatu. Tarkemmin ottaen ongelmana oli suuri vesi-sementtisuhte ja massan epätasalaatuisuus, jotka ovat aiheuttaneet massan epätasaista tiivistymistä. Ohuthietutkimuksesta voidaan päätellä, että rakenne on hyvin vaihtelevan kuntoinen, sillä yleisarvio näytteistä vaihteli tyydyttävästä heikkoon.

Laboratoriossa tehtyjen testien perusteella vain rakenteen epätasalaatuisuus tukee päätöstä purkaa rakennus. Muun muassa kloridipitoisuus havaittiin paikoittain todella suureksi, mikä puolestaan kiihdyttää teräskorroosiota huomattavasti ja voi aiheuttaa mittavan korjaustarpeen. Kloridipitoisuus oli kuitenkin pääosin hyvin pieni, joten tilaaja voi tarvittaessa tehdä lisätutkimuksia paikoittain esiintyvien poikkeuksellisen suurien kloridipitoisuuksien syyn selvittämiseksi.

Silmämääräisesti tarkasteltuna betonirakenteessa on merkittävä määrä raudoitteiden korroosion aiheuttamia ruosteläikkiä. Mikäli betonirakenteet vain pinnoitetaan uudestaan, ruosteläikät todennäköisesti tulevat läpi uudesta pinnoitteesta muutaman vuoden kuluessa. Raudoitteiden korroosion estämiseksi on siis ryhdyttävä korjaustoimenpiteisiin, jotka voivat tulla taloudellisesti ja ajallisesti kalliimmaksi kuin rakenteiden purkaminen.

Lisäksi pahoin vaurioituneet pilarit, joista on lohkeillut palasia ja joiden pääteräksiset ovat selvästi korroosiolle alttiina, joudutaan korjaamaan. Korjauksessa on kuitenkin huomioitava, että suuri osa pilarista voidaan joutua purkamaan korjauksen yhteydessä. Näiltä osin voidaan harkita betonirakenteiden osittain purkamista, sillä osa pilareista voidaan säilyttää ja osa on purettava kantavuuden heikkenemisen myötä. Liitteen 2 ensimmäisellä sivulla olevien väritunnisteiden avulla voidaan havaita, että huonokuntoisimmat rakenteet sijoittuvat rakennuksen länsikulmalle. Rakenteiden purkaminen osittain voi olla kyseisen alueen kohdalla kannattavaa.

4.2 Käyttöikämitoitus

Nykyisin betonirakenteille tehdään käyttöikämitoitus, jonka perusteella valitaan suunnittelukäyttöikä. Suunnittelukäyttöikä tarkoittaa vähimmäisaikaa, jonka rakenne täyttää sille asetetut vaatimukset oikein käytettynä ja huollettuna. Varatorakennus K21:tä suunniteltaessa ei ole tehty käyttöikämitoitusta, mutta rakennus on jo 59 vuotta vanha. Betonirakenteet ovat siis kestäneet jo nykyaikaisen käyttöikämitoituksen vähimmäisajaksi määritellyn 50 vuotta. Käyttöikää voidaan edelleen pidentää, mutta korjaustoimenpiteet on suunniteltava huolella, jotta korjaus olisi mahdollisimman kattava. Uutta käyttöikää suunniteltaessa on otettava huomioon, että rakenteiden tulee kestää uusien rakenteiden rinnalla vielä vuosia eteenpäin. Tulevalle taloyhtiölle kasaantuu turhia kustannuksia ja vaivaa, mikäli julkisivu joudutaan korjaamaan muutaman vuoden välein tai jopa useammin. Nykyisen visuaalisen kunnon perusteella korjaustyö tulee olemaan vaahtiva sekä ajallisesti että taloudellisesti. (BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. 2007, 6.)

Käyttöikämitoitus voidaan tehdä laskennallisesti tai taulukkomitoituksena. Taulukkomitoitus voi johtaa kuitenkin tarpeettomaan ylimitoitukseen, joten on suositeltavampaa käyttää laskennallista menetelmää. Laskennallisesti käyttöikä voidaan määrittää pakkasrasituksen tai karbonatisoitumisen suhteen. Pakkasrasituksen suhteen laskettaessa tärkeimmät vaikuttavat tekijät ovat betonin ilmapiitoisuus ja vesi-sementtisuhde. Lisäksi vaikuttavia asioita ovat rakennetyyppi ja pinnoite, työn suoritus, ulkoiset säärasitukset sekä huoltotoimenpiteet. Karbonatisoitumisen suhteen laskettaessa käyttöikään vaikuttavat etenkin betonipeitepaksuus ja betonin lujuus. Lisäksi vaikuttavat sementtityyppi, ilmahuokoisuus, pinnoite, työn suoritus, ulkoiset säärasitukset sekä huoltotoimenpiteet. (BY 50 Betoninormit 2012. 2011, 223–236; BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. 2007, 9–10.)

Laskennallista käyttöikämitoitusta varten valitaan BY50 Betoninormit 2012 –kirjan mukaiset kertoimet edellä mainitut tekijät huomioon ottaen. Lisäksi mitoitusta tehdessä on huomioitava suurin sallittu halkeamaleveys, joka on riippu-

vainen rakennuksen rasitusluokasta sekä suunnittelukäyttöiästä. (BY 50 Betoninormit 2012. 2011, 223.)

4.3 Korjausvaihtoehdot

Ennen betonirakenteen korjaustoimenpiteisiin ryhtymistä on pohdittava kunnostustulosten perusteella, millaista korjausta rakenteet vaativat ja mikä olisi ajallisesti ja taloudellisesti kannattavinta. Betonin korjaustapoja ovat esimerkiksi ruiskubetonointi sekä paikkaukset laastilla tai valamalla. Korjauksen yhteydessä myös raudoitteet puhdistetaan ja suojataan tai tarvittaessa vaihdetaan uusiin.

Betonirakenteen korjaustyö aloitetaan pinnan esikäsitteilyllä ja puhdistuksella, jotta vaurioituneet osat saadaan poistettua ja uusille pinnoille mahdollisimman hyvät tartunnat. Puhdistus voidaan suorittaa esimerkiksi vesipiikkauksella. Vesipiikkaus perustuu korkeapaineiseen vesisuihkuun, joka tunkeutuu betonin huokosiin ja halkeamiin. Paineen avulla saadaan poistettua vaurioitunut rakenne ja puhdistettua raudoitteet ruosteesta. Puhdistuksen jälkeen raudoitteet suojataan korroosiosuoja-aineella, mikäli tuleva peitepaksuus ei ole riittävä suojaamaan raudoitteita korroosiolta. (BY 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007, 27–28 ja 45.)

Kohteessa on havaittavissa laajalti vaurioituneita kohtia, joten korjaukset on mahdollisesti kannattavinta tehdä ruiskubetonoimalla. Ruiskubetonointi soveltuu etenkin rakenteiden alapintoihin, kuten kohteessa olevaan välipohjaan. Kuivamenetelmällä ruiskubetonoitaessa rakenteen pinnat esikostutetaan tartuntojen parantamiseksi. Lisäksi voidaan lisätä mekaanisia ankkureita tai rakennetta vahvistavia raudoitteita. Ruiskutus suoritetaan noin 20–25 mm:n kerroksissa, tarvittaessa useassa osassa. Ruiskubetonointi lisää rakenteen omaa painoa, joten vaikutus kantavuuteen on selvitettävä ennen työn aloittamista. (BY 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007, 53–56.)

Valamalla saadaan korjattua suuremmat vauriot, kuten lohkeamat rakenteissa. Ennen muottien valmistusta ja valua varmistetaan pintojen tarttuvuus. Tartunnat varmistetaan yleensä erillisen suunnitelman mukaisilla mekaanisilla tartunnoilla. Rakenteissa olevat raudoitteet tarkastetaan ja tarvittaessa vaihdetaan uusiin.

Vanhat raudoitteet voidaan korvata ruostumattomilla harjateräksillä, jos tuleva peitepaksuus ei ole riittävä suojaamaan raudoitteita korroosiolta. Muottien valmistuksessa on huomioitava etenkin riittävä tiiveys. Valu tehdään yleensä normaalilla betonimassalla, mutta tarvittaessa voidaan käyttää itsetiivistyvää massaa. Normaalilla massalla valettaessa etenkin tärytys on tehtävä huolellisesti. (BY 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007, 49–52.)

4.4 Tarvittavat lisätutkimukset

Tehtyjen tutkimusten lisäksi tilaajan on syytä tehdä lisätutkimuksia muun muassa koskien mahdollisia haitta-aineita sekä rakenteita, joita ei tutkittu tässä kuntotutkimuksessa. Tämä kuntotutkimus on tehty rakennuksen ulkopuolisille betonirakenteille noin 0–2 metrin korkeudelta.

Tulevaa käyttötarkoitusta ja mahdollista korjausta ajatellen kuntotutkimuksia suositellaan laajentamaan etenkin ylempien betonirakenteiden sekä perustusten ja alapohjan osalta. Perustukset ja perustamistapa on syytä selvittää kaivamalla perustusten vierustoja sekä uudemmalta että vanhemmalta puolelta. Ylempiä betonirakenteita on tutkittu vain silmämääräisesti, joten niistä tulisi lisäksi ottaa näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Tarkemmat tutkimukset voidaan suorittaa lisäksi betonirakenteista rakennuksen sisällä.

Haitta-ainetutkimuksilla voidaan selvittää, sisältääkö rakenne esimerkiksi lyijyä tai asbestia. Lisäksi sisäilmavaikutusten ja työturvallisuusriskien arvioinnin kannalta tulisi betonirakenteesta analysoida erilaisten mineraaliöljy- ja öljyhiilivetyjakeiden sekä BTEX-, PAH- ja PCB-yhdisteiden pitoisuudet. Asbestia on voitu käyttää rakenteissa esimerkiksi paloturvallisuuden parantamiseen ja PCB:tä halkeamien synnyn ehkäisyyn betonin valmistuksessa. Vaikka rakenteet eivät sisältäisikään haitta-aineita, voi niitä esiintyä esimerkiksi maaperässä rakennuksen ympärillä. (RT 20–11160. 2014, 15–16.)

Tässä kuntotutkimuksessa saatujen tulosten luotettavuuden lisäämiseksi voidaan haluttaessa tehdä lisätutkimuksia. Esimerkiksi puristuslujuuskoe on suoritettu ainoastaan rakennuksen koillispuolelta otetuista rakennekoekappaleista ja vetolujuuskokeen tuloksista vain yksi on lounaan puolelta otetusta kappaleesta.

Kloridipitoisuutta tutkittiin kattavasti, mutta erityisesti poikkeavat tulokset voitaisiin tarkastaa uudesta näytteestä.

5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia Oulun Toppilansalmessa sijaitsevan varastorakennus K21:n betonirakenteiden kuntoa silmämääräisesti sekä erilaisin laboratorio-kokein. Tavoitteena oli määrittää betonirakenteiden kunto, jotta tiedetään, millaisiin toimenpiteisiin käyttötarkoituksen muutosta suunniteltaessa on ryhdyttävä. Tuloksista tuli selvitä, voidaanko rakennetta hyödyntää tulevaisuudessa vai onko taloudellisesti ja turvallisuuden kannalta järkevämpää purkaa rakennus kokonaan.

Tutkimukset tehtiin yhteistyössä Oulun ammattikorkeakoulun Korjausrakentamisen kuntotutkimukset 2 –opintojakson oppilaiden kanssa. Itse tutkimukset sujui-
vat hyvin, mutta tulosten kirjaamisessa ja niiden tulkitsemisessä oli ongelmia. Virheelliset tulokset jouduttiin hylkäämään, jotta lopullisten tulosten luotettavuus ei kärsisi.

Laboratoriokokeiden perusteella betonirakenteet ovat hyvässä kunnossa lukuun ottamatta rakennuksen länsikulmaa, jossa tulokset olivat heikompia kuin muualla. Rakenteen todettiin olevan laadultaan hyvin vaihteleva. Puristuslujuuksien todettiin olevan erittäin hyviä, joten rakenne kestää vähintään nykyiset kuormat. Myös vetolujuudet olivat riittävät korjaustoimenpiteitä ajatellen.

Ulkoisesti rakenne näyttää huonokuntoiselta, sillä pilareiden kulmat ovat halkeilleet ja raudotteiden paikat näkyvät ruosteläikkinä ympäri rakennusta. Visuaaliset haitat ovat kuitenkin korjattavissa suurimmaksi osaksi puhdistuksella ja paikkauksella. Rakenteen osittain purkamista voidaan harkita suurimpien vaurioiden ja heikoimpien rakenteiden kohdalta.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että rakenne on korjattavissa tulevaa käyttötarkoitusta varten. Tilaajan suositellaan kuitenkin tekevän lisätutkimuksia muun muassa haitta-aineiden osalta. Lisäksi on laadittava kustannusarvio, jonka pohjalta voidaan tehdä lopullinen purku- tai korjauspäätös.

LÄHTEET

Asemakaavamääräykset ja –merkinnät. 2014. Oulun kaupunki. Saatavissa: http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=4fd27338-6f97-471f-a0b3-dd64b52feddd&groupId=64220. Hakupäivä 1.12.2014.

Betonin karbonatisoituminen. 2010. Tofte Yhtiöt Oy. Saatavissa: <http://www.haistahome.fi/betonin+tutkimus/karbonatisoituminen/>. Hakupäivä 23.11.2014.

BY 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

BY 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. 2013. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY – Koulutus Oy.

BY 50 Betoninormit 2012. 2011. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. 2007. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Kääriäinen, Hannu 2015. T523323 Korjausrakentamisen kuntotutkimukset 2 3 op. Opintojakson luennot keväällä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Ohuthietutkimus. Ositum Oy. Saatavissa: <http://www.ositum.fi/index.php?p=Ohuthie>. Hakupäivä 23.11.2014.

RT 20–11160. 2014. Haitta-aine tutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi.ezp.oamk.fi:2047/bin/get/id/5guoZSGvt%3A%2447%24K00553%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-108941/K00553.pdf> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 20.4.2015.

RT 82–10604. 1996. Betonijulkisivut. Korjausrakentaminen. Rakennustieto Oy.
Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2410604%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%242774/10604.pdf> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 23.11.2014.

SFS-EN 14629. 2007. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Kovettuneen betonin kloridipitoisuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS 5451. 1988. Betoni. Kloridipitoisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

1 (14)

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut
Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puh.0207 864 12
Fax 0207 864 800

13.03.2015



Oulun seudun ammattikorkeakoulu/Tekniikan yksikkö
Pertti Uhlbäck/Hannu Kääriäinen
Kotkantie 1
90250 Oulu

analyysi:		
OHUTHIEANALYYSI		
kohte:	saapumispäivämäärä:	näyttemateriaali:
Toppilan varastorakennus	20. ja 26.2.2015	betoni, laasti
näytetunnukset:	näytteiden muoto ja halkaisija:	ohuthienäytelasin koko:
A-15, B-2, B-4-5, C-23, H-1, I-11	poralieriö, Ø 60 mm (A-15, B-2, C-23, I-11), Ø 75 mm (B-4-5, H-1)	48 mm x 25 mm

Tutkimukset

Näytteistä valmistettiin ohuthieet (paksuus 0,025-0,030 mm) pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Ohuthie on valmistettu ylä-, ala-, ulko- tai sisäpinnasta lähtien asiakkaan pyynnön mukaisesti.

Näytteen yleispiirteiden tarkastelu suoritettiin ensin Olympus SZ3060 stereomikroskoopilla, minkä jälkeen ohuthieet tutkittiin Olympus BZ60 polarisaatiomikroskoopilla. Tulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ohuthieanalyysi on akkreditoitu menetelmä. Analyysi tehdään soveltaen standardia ASTM C856-14.

Tulokset**NÄYTE A-15, pilari*****Yleistiedot:***

Näytelieriön pituus on n. 100 mm ja se on katkaistu. Ulkopinta on rapautunut ja kiviaines on paljastunut. Sideaines on hyvin vaaleaa.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkai-stulta pinnalta)

Ulkopinnalla 1-23 mm, keskimäärin 9 mm.

Ohuthietutkimus (ulkopinta):

Betoni on tasalaatuinen, mutta ei täysin tiivis. Karkea kiviaines koostuu pääosin pyörityneistä, paikoin kulmikkaista liuske-, myloniitti- ja

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

2 (14)

granitoidikappaleista. Hieno kiviaines koostuu pääosin hieman kulmikkaista, kvartsivaltaisista liuske- ja myloniittikappaleista sekä pienemmistä mineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko on 20 mm. Pääosin ehjän ja rapautumattoman kiviaineksen joukossa on yksittäisiä säröilleitä tai huokoisia kappaleita.

Sideaines on väriltään hyvin vaaleaa, karkearakeista portlandsementtiä. Hyvin suuria ($\varnothing < 0,15$ mm) hydratoitumattomia klinkkerikappaleita havaittiin kohtalaisesti. Hydrataatio on tasainen ja hydrataatioaste korkea. Seosaineena on masuunikuonaa ja kalkkikivifillieriä. Sideaineen kalsiumhydroksidikiteytymät ovat pääosin keskirakeisia. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu maksimissaan 16 mm, keskimäärin n. 10 mm syvyydelle ulkopinnasta. Ulkopinnalla kiviaines on paljastunut ja paikoin on nähtävissä $< 1,0$ mm paksu isotrooppinen sideaineen liukenemiskerros. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat monin paikoin auki tai heikentyneet. Tartuntojen ongelmat johtuvat osin kiviaineksen pinnoille asettuneista tiivistyshuokosista, osin tartuntasäröilystä sekä yksittäin vielä kiviainesta myötäilevästä mikrosäröilystä. Tartunnoissa on paikoin nähtävissä kalsiumhydroksidia, kookkainakin rakeina.

Näytteessä havaittiin yksittäisiä, kiviainesta myötäileviä $< 0,01$ mm leveitä mikrosäröjä. Säröily on suuntautumaton.

Suojahuokosia ($\varnothing 0,02-0,8$ mm) on melko vähän. Tiivistyshuokosia ($\varnothing < 4,0$ mm) on melko runsaasti, mutta ne ovat pääosin hyvin pieniä. Muodoltaan tiivistyshuokokset ovat hyvin epäsäännöllisiä. Kiviaineskappaleiden pinnoilla huokokset ovat paikoin pitkulaisia. Huokosissa havaittiin paikoin melko vähäisiä ettringiittikiteytymiä ja yksittäisessä huokosessa, n. 21 mm syvyydellä ulkopinnasta, pieniä kalsiittikiteitä.

NÄYTE B-2, pilari

Yleistiedot:

Näytelieriön pituus on n. 110 mm. Näyte ei ole täysin tasalaatuinen. Huokoisuus ja karkean kiviaineksen määrä vaihtelevat alueittain. Sideaines on hyvin vaaleaa.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta)

Ulkopinnalla 1-45 mm, keskimäärin 10 mm.

Ohuthietutkimus (ulkopinta):

Laasti

Ohuthieessä betonin pinnassa havaittiin 0-1,25 mm paksu laastikerros. Kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista tai hieman pyöristyneistä silikaattimineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko 0,25 mm.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

3 (14)

Koostumukseltaan sideaine on karkearakeista portlandsementtilaastia. Hydrataatio on tasainen ja hydrataatioaste melko matala. Seosaineena on kalkkikivifilleriä. Mikrotekstuuri on tasalaatuinen, mutta hieman rakeinen. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu läpi laastikerroksen. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit, mutta paikoin huokoisuuden vuoksi auki.

Laastikerroksissa ei havaittu merkittävää säröilyä.

Huokosia ($\emptyset < 0,1$ mm) on melko runsaasti. Huokokset ovat muodoltaan epäsäännöllisiä. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytymiä.

Laastin tartunta betoniin on hyvä ja tiivis. Kerrostartunnassa, betonin puolella, on paikoin max. $0,5 \times 2$ mm puun säljä, jotka ovat suuntautuneet pinnan myötäisesti.

Betoni

Betoni ei ole tasalaatuinen eikä täysin tiivis. Näytteessä on alueita, joilla ei ole karkeaa kiviainesta lainkaan. Karkea kiviaines (siellä missä sitä on) koostuu pääosin pyörityneistä granitoidi- ja liuskekappaleista. Hieno kiviaines on mineralogialtaan melko vaihtelevaa, joukossa myös kohtalaisesti mikro/kryptokiteistä piitä sisältäviä kappaleita (kvartsiitti, hiekkakivi). Suurin havaittu raekoko on 16 mm. Kiviaines on pääosin ehjää ja rapautumatonta, mutta yksittäisiä huokoisia kappaleita tai limoniittiutuneita amfiboliittirikkaita kappaleita havaittiin.

Sideaines on karkearakeista portlandsementtiä, jonka mikrotekstuuri vaihtelee alueittain, mutta on tasalaatuista erilaisten alueiden sisällä. Kookkaita ($\emptyset 0,1-0,15$ mm) hydratoitumattomia klinkkerikappaleita havaittiin kohtalaisesti. Hydrataatio ei ole tasainen, vaan vaihtelee korkean ja normaalin välillä. Seosaineena on masuunikuonaa ja kalkkikivifilleriä, masuunikuona puuttuu joiltain epätasalaatuisuuden alueilta. Sideaineen kalsiumhydroksidikiteytymät ovat keski-karkearakeisia alueittain vaihdellen. Ohuthieessä sideaines on karbonatisoitunut keskimäärin 13 mm ulkopinnasta ja maksimissaan (karkearakeisessa osassa) läpi ohuthieen. Läpi karbonatisoitunut alue on muuta näytettä huokoisempaa. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit, mutta etenkin huokoisemmilla alueilla, paikoin auki tai heikentyneet. Tartuntojen ongelmien aiheuttajia ovat osin kalsiumhydroksiditayeiset tartuntasäröt, kiviainekappaleiden pinnoille asettuneet tiivistyshuokokset sekä yksittäin myös mikrosäröily.

Näytteen pinnasta n. 15 mm syvyydelle ulottuu yksittäinen pinnanvastainen särö, joka saa alkunsa huokoisemman ja tiiviimmän alueen tartunnasta ja osin myötäilee tartuntaa. Särö on noin 1-2 mm ja se myötäilee kiviainesta. Karbonatisoitumattomilla, tiiviimmillä alueilla

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

4 (14)

havaittiin paikoin hentoa epätasaista, suuntautumaton mikrosäröverkkoa. Säröjen leveys on $\ll 0,01$ mm ja säröily myötäilee kiviainesta.

Suojahuokosia ($\varnothing 0,02-0,8$ mm) on melko vähän. Tiivistyshuokosten määrä vaihtelee voimakkaasti alueittain. Tiiviimmillä alueilla huokokset ovat harvalukuisia, säännöllisempiä ja suurempia ($\varnothing < 6,5$ mm). Huokoisemmillä alueilla tiivistyminen on heikkoa ja pääosin pieniä, epäsäännöllisen muotoisia huokosia on runsaasti. Huokosissa on paikoin hyvin vähäisiä ettringiittikiteytymiä.

NÄYTE B-4-5, ulkoseinä

Yleistiedot:

Näytelieriön pituus on n. 61-64 mm, katkaistu sahaamalla. Teräs ($\varnothing 13$ mm) n. 31 mm ulkopinnasta. Teräksessä ja sitä reunustavassa sideaineessa on paikoin nähtävissä ruostetta. Kiviaineksen ja teräksen tartunnat ovat paikoin auki. Huokoisuus vaihtelee.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta)

Ulkopinnalla 8-46 mm, keskimäärin 33 mm. Saavuttanut teräsyvyuden.

Ohuthietutkimus (ulkopinta):

Laasti

Betonin pinnassa on paksuudeltaan vaihteleva (0,5-6,0 mm), kaksikerroksinen laasti. Ulomman kerroksen paksuus n. 0,5-1,0 mm, kiviaines on hieman hienorakeisempaa ja kiviainesindeksi hieman korkeampi. Muuten kerrokset ovat arviolta koostumukseltaan samanlaisia. Kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista tai hieman pyörityneistä silikaattimineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko 0,8 mm.

Koostumukseltaan laasti on karkearakeista portlandsementtilaastia. Hydrataatio on tasainen ja hydrataatioaste melko matala. Mikrotekstuuri on tasalaatuinen, mutta hieman rakeinen. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu läpi laastikerroksen, mutta on paikoin epätäydellistä sisemmässä kerroksessa. Ulkopinnalla kiviaines on paljastunut. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit, paikoin huokosten tai kapeiden tartuntasäröjen heikentämät.

Laastikerroksissa ei havaittu merkittävää säröilyä.

Huokosia ($\varnothing < 0,15$ mm) on runsaasti. Huokokset ovat muodoltaan pääosin epäsäännöllisiä, mutta sisemmässä kerroksessa paikoin hieman häiriintyneitä palloja. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytymiä.

Kerrosten tartunnat toisiinsa ja betoniin ovat pääosin hyvät ja tiiviit.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

5 (14)

Betoni

Betoni ei ole täysin tasalaatuinen, eikä täysin tiivistynyt. Karkea kiviaines koostuu pääosin pyörityneistä granitoidi- ja liuskekappaleista, mutta joukossa on myös kvartsiitteja ja myloniitteja. Hieno kiviaines koostuu mineralogialtaan hyvin heterogeenisistä, pyörityneistä kivilajikappaleista sekä pienemmistä kulmikkaista mineraalirakeista. Hienoaineen joukossa on kohtalaisesti mikro/kryptokiteistä piitä sisältäviä kappaleita, kuten kvartsiitteja, hiekkakiviä ja myloniitteja. Suurin havaittu raekoko on 26 mm. Kiviaines on pääosin ehjää ja rapautumatonta.

Sideaines on karkearakeista portlandsementtiä, joka ei ole täysin tasalaatuista. Hydrataatio ei ole täysin tasainen, vaan vaihtelee normaalista korkeaan. Seosaineena on masuunikuonaa ja kalkkikivifillieriä. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu keskimäärin 20 mm, maksimissaan 40 mm syvyydelle ulkopinnasta. Karbonatisoituminen on paikoin saavuttanut teräsvyvyyden ja teräskorroosio on alkanut. Teräksen pinnalla on ruostetta ja ruoste on tunkeutunut myös sideainekseen. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat tiiviimmillä alueilla pääosin hyvät ja tiiviit, huokoisemmilla alueilla monin paikoin huokosten tai osin kalsiumhydroksiditytteisten tartuntasäröjen heikentämiä.

Näytteessä on yksittäinen, betonin ulkopinnasta 31 mm syvyydellä sijaitsevaan teräkseen jatkuva särö. Särö pääosin myötäilee kiviainesta ja sideaines sen reunoilla on karbonatisoitunut. Särössä ei havaittu ruostetta tai kiteytymiä. Särön leveys on < 0,02 mm ja se on paikoin epäjatkua tai haarautuva. Teräksestä säteilee maksimissaan 2 mm etäisyydelle < 0,01 mm leveitä mikrosäröjä, jotka paikoin ovat ruosteen täyttämiä.

Suojahuokosia (\varnothing 0,02-0,8 mm) havaittiin vain yksittäin. Muodoltaan vaihtelevia, epäsäännöllisiä tiivistyshuokosia (max 5,5 x 2,0 mm) on keskimäärin kohtalaisesti. Huokokset ovat keskittyneet tietyille alueille ja huokosilla tai huokoisemmilla alueilla on monin paikoin lieviä pinnan vastainen suuntaus. Yksittäisissä suojahuokosissa on vähäisiä ettringiittikiteytymiä.

NÄYTE C-23, pilari

Yleistiedot:

Näyteliön pituus on n. 85-100 mm. Sideaines on väritään hyvin vaaleaa beigeä. Ulkopinta on epätasainen.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta)

Ulkopinnalla 25-33 mm, keskimäärin 30 mm.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

6 (14)

Ohuthietutkimus (ulkopinta):

Betoni on tasalaatuinen ja melko tiivis. Karkea kiviaines koostuu pääosin (hieman) pyörityneistä granitoidikappaleista. Hieno kiviaines koostuu pääosin granitoidi-, liuske- ja myloniittikappaleista, joiden raemuoto vaihtelee. Suurin havaittu raekoko on 15 mm. Kiviaines on pääosin ehjää ja rapautumatonta, yksittäisiä säröilleitä kappaleita havaittiin.

Sideaines on tasalaatuista, karkearakeista portlandsementtiä. Hydrataatio ei ole tasainen ja hydrataatioaste vaihtelee normaalin ja korkean välillä. Sideaineen alkuperäinen rakenne on peittynyt täydellisesti karbonatisoituneella vyöhykkeellä. Karbonatisoitumattomalla alueella sideaines ei ole tasalaatuista. Ohuthieessä sideaines on karbonatisoitunut keskimäärin 28 mm ja maksimissaan 35 mm syvyydelle näytteen ulkopinnasta. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit, mutta paikoin heikentyneet joko osin kiteytymillä (kalsiumhydroksidi, ettringiitti) täyttyneiden tartuntasäröilyn tai kiviainesta myötäilevän pinnan suuntaisen säröilyn vuoksi.

Noin 25 mm syvyydellä on nähtävissä pinnan myötäistä säröilyä. Särön leveys on < 0,05 mm ja se jatkuu poikki ohuthieen haarautuen paikoin. Särössä on paikoin ettringiittikiteytymiä ja paikoin säröily on karbonatisoitumisen ”korjaamaa”. Säröily myötäilee kiviainesta.

Suojahuokosia (\varnothing 0,02-0,8 mm) on melko vähän. Pääosin melko säännöllisen muotoisia tiivistyshuokosia (\varnothing < 5,0 mm) on kohtalaisesti, mutta ne ovat pääosin maksimikokoa huomattavasti pienempiä. Huokosissa on ettringiittikiteytymiä ja yksittäisiä kiteytymistä umpeutuneita suojahuokosia havaittiin.

NÄYTE H-1, pilari***Yleistiedot:***

Näytelierrön pituus on n. 155 mm ja se on katkaistu. Näyte koostuu ulkopinnan laastikerroksesta n. 1-7 mm ja betonista. 0-60 mm syvyydellä huokoisuus vaihtelee alueittain voimakkaasti. Kiviaineksen jakautuminen on epätasaista. Noin 22-39 mm syvyydellä on pinnanvastaisia säröjä onkalomaisen huokosen yhteydessä. Sideaines on väriltään hyvin vaaleaa. Betoni käyttäytyi hyvin hauraasti näytteen preparoinnissa. Halkaistulla pinnalla on pölyntyviä alueita.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta)

Ulkopinnalla 23-73 mm, keskimäärin 60 mm.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

7 (14)

Ohuthietutkimus (ulkopinta):**Laasti**

Betonin pinnassa on paksuudeltaan vaihteleva kaksikerroksinen laasti. Ulomman kerroksen paksuus on 0,5-1,0 mm ja sisemmän 1,0-2,75 mm. Ulomman kerroksen kiviaines on keskimäärin hieman karkearakeisempaa ja kiviainesindeksi hieman matalampi, sisempi kerros on huokoisempi. Muuten kerrokset ovat arviolta koostumukseltaan samanlaisia. Kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista tai hieman pyörityneistä silikaattimineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko 0,6 mm.

Koostumukseltaan laasti on karkearakeista portlandsementtilaastia. Hydrataatio on tasainen ja hydrataatioaste melko matala. Seosaineena on masuunikuonaa ja kalkkikivifillieriä. Mikrotekstuuri on tasalaatuinen. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu läpi laastikerroksen. Ulkopinnalla kiviaines on paljastunut. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit ulommassa kerroksessa, monin paikoin huokosten tai säröjen heikentämät sisemmässä kerroksessa.

Ulommassa kerroksessa ei havaittu merkittävää säröilyä. Läpi sisemmän kerroksen on nähtävissä < 0,1 mm leveitä, reunoiltaan rosoisia säröjä. Säröjen etäisyys toisistaan on keskimäärin 0,1 mm. Säröily on laastikerroksen paksummissa kohdissa viistosti pinnan vastaista, ohuemmissa kohdissa pinnan vastaista. Säröily myötäilee kiviainesta.

Huokosia ($\emptyset < 0,2$ mm) on ulommassa kerroksessa melko vähän, sisemmässä kerroksessa melko runsaasti. Muodoltaan huokokset ovat häiriintyneitä palloja. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytymiä.

Laastikerrosten tartunta toisiinsa on hyvä ja tiivis, mutta tartunta betoniin on monin paikoin auki tai hauras.

Betoni

Betoni ei ole täysin tasalaatuinen, eikä kaikilta osin täysin tiivis. Karkea kiviaines koostuu pääosin pyörityneistä granitoidi- ja liuskekappaleista. Hieno kiviaines koostuu pääosin pyörityneistä granitoidi-, liuske- ja myloniittikappaleista sekä pienemmistä kulmikkaista mineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko on 21 mm. Kiviaines on pääosin ehjää ja rapautumatonta, mutta paikoin havaittiin maasälpjen serisiittiytymistä ja yksittäisiä voimakkaasti limoniittituneita liuskeita.

Sideaines on karkearakeista portlandsementtiä. Seosaineena on masuunikuonaa. Ohuthieessä sideaines on karbonatisoitunut läpi näytteen. Sideaines on epätasalaatuista ja karbonatisoituminen on paikoin tavallista, paikoin ns. bikarbonatisoitumista, joka tekee mikrotekstuurista laikukkaan, rakeisen ja huokoisen. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat paikoin auki



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

8 (14)

tartuntasäröjen, huokosten tai mikrosäröilyn vuoksi sekä paikoin bikarbonatisoitumisen heikentämät.

Näytteessä havaittiin leveät, pinnan myötäiset säröt n. 35 mm ja 42 mm syvyydellä näytteen ulkopinnasta. Säröily myötäilee sideainesta ja on < 0,2 mm leveää. Säröt haarautuvat paikoin ja halkovat suuria pitkulaisia tiivistyshuokosia. Toinen säröistä ulottuu poikki ohuthieen, toinen jatkuu ohuthiealueen ulkopuolelle sisäreunassa.

Suojahuokosia (\varnothing 0,02-0,8 mm) on melko vähän. Hyvin epäsäännöllisiä, onkalomaisia tiivistyshuokosia (max. 5 x 5 mm) on melko runsaasti. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytyymiä.

NÄYTE I-11, pilari

Yleistiedot:

Näytelieriön pituus on n. 110 mm. Näyte on katkaistu. Sideaines on väriltään vaaleaa.

Sideaineen karbonatisoituminen:

(määritetty fenoliftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta)

Ulkopinnalla 41-49 mm, keskimäärin 45 mm.

Ohuthietutkimus (ulkopinta):

Laasti

Betonin pinnassa on 0-1,25 mm paksu laastikerros. Kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista tai hieman pyörityneistä silikaattimineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko 0,2 mm.

Koostumukseltaan laasti on karkearakeista portlandsementtilaastia. Hydrataatio on tasainen ja hydrataatioaste melko matala. Seosaineena on kalkkikivifillieriä, mahdollisesti myös masuunikuonaa, sillä yksittäisiä lasimaisia kappaleita havaittiin. Mikrotekstuuri on tasalaatuinen, mutta hieman rakeinen. Ohuthieessä karbonatisoituminen ulottuu läpi laastikerroksen. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat monin paikoin huokosten heikentämät.

Laastikerroksessa ei havaittu merkittävää säröilyä.

Huokosia (\varnothing < 0,2 mm) on runsaasti. Pienemmät huokokset ovat muodoltaan pääosin epäsäännöllisiä, mutta suuremmat lähes pallomaisia. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytyymiä.

Laastin tartunta betoniin on hyvä ja tiivis.



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

9 (14)

Betoni

Betoni on tasalaatuinen ja melko tiivis. Karkea kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista granitoidi- ja liuskekappaleista. Hieno kiviaines koostuu pääosin granitoidi-, liuske- ja myloniittikappaleista sekä pienemmistä kulmikkaista mineraalirakeista. Suurin havaittu raekoko on 17 mm. Kiviaines on pääosin ehjää ja rapautumatonta.

Sideaines on karkearakeista portlandsementtiä. Hydratoitumattomat sementtiklinkkerikappaleet ovat usein kookkaita (\varnothing 0,01-0,015 mm). Seosaineena on masuunikuonaa ja kalkkikivifillieriä. Ohuthieessä sideaines on karbonatisoitunut tasaisesti läpi näytteen. Karbonatisoituminen peittää osin sideaineen alkuperäistä rakennetta, mutta sideaine ei ole täysin tasalaatuista, vaan mikrohuokoisuus vaihtelee. Side- ja kiviaineksen tartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit, paikoin kiviainesta myötäilevän säröilyn vuoksi auki.

Betonin ulkopinnasta maksimissaan läpi ohuthieen on nähtävissä 3-5 mm leveä pinnan vastaisten säröjen vyöhyke. Säröt ovat paikoin epäjatkuvia, pienten, osin limittäisten säröjen jonoja. Paikoin säröt jakautuvat kahtia yhtyäkseen muutaman millin päästä uudelleen. Säröjen leveys on $< 0,04$ mm. Säröily myötäilee kiviainesta. Lisäksi muualla näytteessä on nähtävissä yksittäisiä pinnan vastaisia, < 2 mm pitkiä, $< 0,01$ mm leveitä mikrosäröjä, jotka myötäilevät kiviainesta.

Suojahuokosia (\varnothing 0,02-0,8 mm) on melko vähän. Säännöllisiä, lähes pallomaisia tiivistyshuokosia ($\varnothing < 2,0$ mm) on kohtalaisesti. Huokosissa ei havaittu merkittäviä määriä haitallisia kiteytymiä.

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

10 (14)

Tulosten arviointi

Taulukossa 1. (tulosten tarkastelu) on näyteen betonia kuvattu yleisarvosanalla hyvä, tyydyttävä, välttävä tai heikko. Pakkasekestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella vertaamalla näytettä referenssiin, jonka huokosjako on 0,30. Arvion perustana on käytetty ohutietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 1. Tulosten tarkastelu

Näyte	Rakenneos/pinta	Yleisarvio	Karbonatisoituminen [ka]	Pakkaskest/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
A-15	pilari/ ulkopinta	tyydyttävä	10 mm	Ei/Vähän haitallisia kiteytyviä (ettringiitti)	0-1 mm: 2 1-45 mm: 0
B-2	pilari/ ulkopinta	välttävä	13 mm	Ei/Vähän haitallisia kiteytyviä (ettringiitti)	0
B-4-5	ulkoseinä/ ulkopinta	tyydyttävä	20 mm	Ei/Vähän haitallisia kiteytyviä (ettringiitti)	1
C-23	pilari/ ulkopinta	välttävä	28 mm	Ei/Yksittäin umpeutuneet (ettringiitti)	0
H-1	pilari/ ulkopinta	heikko	läpi	Ei/Ei kiteytyviä	2
I-11	pilari/ ulkopinta	tyydyttävä	läpi	Ei/Ei kiteytyviä	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betonilieriönäytteet ovat varastorakennuksen pilareista ja ulkoseinästä. Näytteiden ulkopinnassa, lukuun ottamatta näytteitä A-15 ja C-23, on 1-2 laastikerrosta. Rakenneosien välillä ei havaittu merkittävää eroa koostumuksessa tai säilymisessä. Näytteiden kunto on hyvin vaihteleva, rapautumista paikoin aiheuttaa teräskorroosio, liukeneminen tai bikarbonatisoituminen. Näytemateriaalien suurin ongelma on kuitenkin niiden laatu, joka on monin paikoin välttävä, johtuen epätasalaatuisuudesta ja korkeasta vesi/sementti-suhteesta, jotka ovat aiheuttaneet mm. epätäydellistä tiivistymistä.

Betonien kiviaines on pääosin granitoidi- ja liuskevaltaista luonnonsoraa. Etenkin hienoaineksen joukossa havaittiin kohtalaisesti krypto/mikrokiteistä piitä sisältäviä kappaleita, mutta kiviaines ei ole reagoitunut ja muutakin rapautumista havaittiin vain vähän. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat monin paikoin heikentyneet johtuen pääosin epätäydellisestä tiivistymisestä, jonka seurauksena betonissa on sekä kiviaineksen pinnalla olevia tiivistyshuokosia että kapeampia tartuntasäröjä. Heikentyneet tartunnat voivat alentaa betonin vetolujuutta, etenkin näytteissä A-15, B-2, B-4-5 ja I-11.

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

11 (14)

Sideaines on karkearakeista portlandsementtiä, jossa on mineraalisen seosaineena masuunikuonaa ja kalkkikivifillieriä. Hydratoitumattomat klinkkerikappaleet ovat monin paikoin hyvin karkearakeisia, mikä viittaa yleensä ennen viime vuosisadan puoliväliä valmistettuun betoniin. Sideaines on epätasalaatuista (Kuva 1), vesi/sementti-suhde (v/s), ja sen seurauksena myös mikrohuokoisuus, on paikoin hyvin korkea. Sekä epätasalaatuisuus että korkea v/s alentavat betonin lujuutta. Näytteessä B-2 epätasalaatuisuus on suurpiirteisempää ja kahden erilaisen, toisiinsa sekoittuneen massa tartuntarajat ovat näkyvissä.

Korkea v/s on myös merkittävä tekijä karbonatisoitumisen etenemisessä syvälle betoniin. Karbonatisoituminen on näytteissä A-15 ja B-2 kohtalaista, mutta muissa näytteissä voimakasta. Näytteessä H-1 on nähtävissä ns. bikarbonatisoitumista (Kuva 3), joka toisin kuin tavallinen karbonatisoituminen, tekee sideaineesta huokoisemman ja hauraan. Bikarbonatisoituminen on tyypillistä hyvin korkean vesi/sementti-suhteen betoneille.

Korkea v/s, sekä mahdollisesti vedenerottuminen ja epätäydellinen sekoittuminen, ovat yleisen epätasalaatuisuuden lisäksi tehneet betoneista epätäydellisesti tiivistyneitä ja makrohuokoisuuden suhteen epätasalaatuksia. Betoneissa vaihtelevat huokoiset ja tiiviimmät alueet (Kuva 2). Betoneja ei ole lisähuokostettu, eivätkä ne arviolta ole pakkasenkestäviä kosteusrasituksessa. Betoneissa ei kuitenkaan havaittu merkittäviä kiteytyymiä, jotka viittaisivat kosteusrasitukseen, eikä myöskään merkkejä pakkasrapautumisesta.

Betoneista voimakkaimmin rapautunut on näyte H-1, jossa bikarbonatisoituminen on tuhonnut sideaineen alkuperäisen rakenteen. Näytteessä nähdään myös paikallista pinnan suuntaista säröilyä. Lierionäytteestä voidaan havaita, että säröily liittyy hyvin huokoiseen alueeseen. Säröily on arviolta syntynyt heikkousvyöhykkeeseen rasituksen, mahdollisesti vasta näytteenoton seurauksena.

Näytteessä B-4-5 karbonatisoituminen on saavuttanut teräsvyvyyden, teräskorroosio on alkanut ja ruostetta on nähtävissä myös sideaineessa (Kuva 4). Näytteessä nähtävä pinnan vastainen säröily on arviolta kuitenkin syntynyt jo betonin varhaisvaiheessa plastisen säröilyn tuloksena. Säröily on edesauttanut karbonatisoitumisen etenemistä teräsvyvyydelle, mutta varsinaista teräskorroosion aiheuttamaa säröilyä on nähtävissä toistaiseksi vain pieninä, ruosteen täyttiminä mikrosäröinä teräksen ympärillä. Plastisia säröjä havaittiin myös näytteessä I-11.

Muutoin säröily on vähäistä. Näytteessä A-15 on nähtävissä vähäistä, hiilidioksidin ja ilmankosteuden aiheuttamasta liukenemistä seurannutta pintarapautumista. Toistaiseksi pintarapautuminen on lähinnä kosmeettinen haitta.

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

12 (14)

Laastipinnoite on näytteissä B-2 ja I-11 yksikerroksinen, näytteissä B-4-5 ja H-1 kaksikerroksinen. Kiviaines on normaalia kulmikkuudeltaan hyvää silikaattihiekkaa, jossa ei havaittu merkittävää rapautumista. Kivi- ja sideaineksen tartunnat ovat paikoin auki huokoisuuden vuoksi.

Sideaines on samantyyppistä portlandsementtilaastia kuin betoneissa, vesi/sementtisuhde on kuitenkin huomattavasti alhaisempi. Etenkin näytteissä B-4-5 ja I-11 vaikuttaa siltä, kuin laastikerroksilla olisi korjailtu plastisen säröilyn rikkomaa betonipintaa. Karbonatisoituminen ulottuu läpi laastikerrosten.

Laastit ovat pääosin melko huokoisia. Huokokset ovat epäsäännöllisiä, paikoin kuitenkin kuin häiriintyneitä suojahuokosia. Merkittäviä kiteytymiä ei havaittu. Epäsäännöllinen huokosrakenne ei arviolta takaa laastien pakkasenkestoa, mutta viitteitä pakkasrapautumisen vaikutuksista ei kuitenkaan, näytettä H1 lukuun ottamatta, havaittu.

Pääosin laasteissa ei ole nähtävissä säröilyä tai muita rapautumisen merkkejä. Näytteen H1 laastissa on kuitenkin pintarapautumista ja sisempi laastikerros on voimakkaasti säröillyt. Säröt ovat tyypillisiä jäätymiselle ennen kovettumista eli aiheutuneet virheestä betonityössä pikemminkin kuin rapautumisesta.

WSP FINLAND OY

tekijä:
Pirkko Kekäläinen
tutkija, LuK

tarkastaja:
Jenny Karjalainen
yksikön päällikkö, FM

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



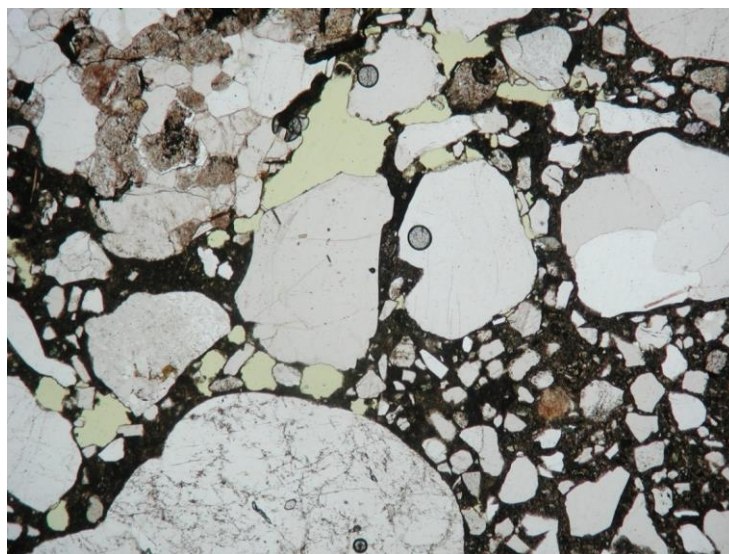
10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

13 (14)



Kuva 1. Näyte I-11, pilari. Epätasalaatuinen sideaines näyttää laikukkaalta. Näyte on kuvattu tasopolaroidussa valossa. Kuvan pitempi sivu n. 2 mm.



Kuva 2. Näyte A-15, pilari. Epätasalaatusessa betonissa havaittiin huokoisempia ja tiiviimpiä alueita. Näyte on kuvattu tasopolaroidussa valossa. Kuvan pitempi sivu n. 3,6 mm.

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

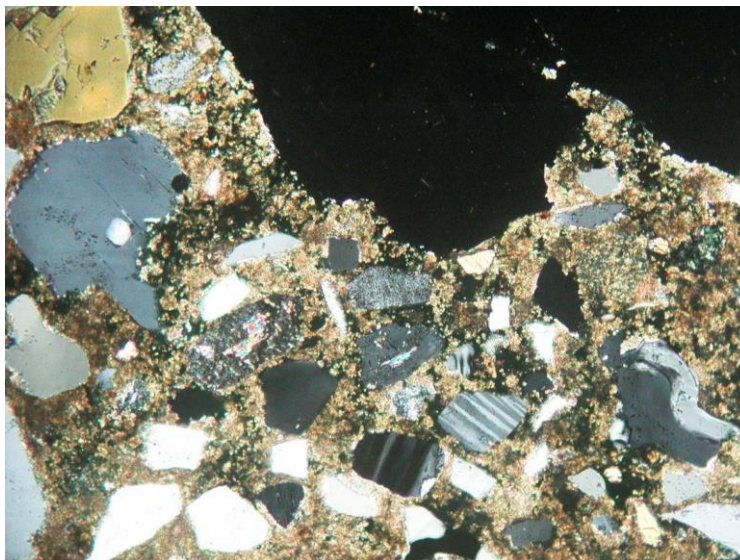
Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



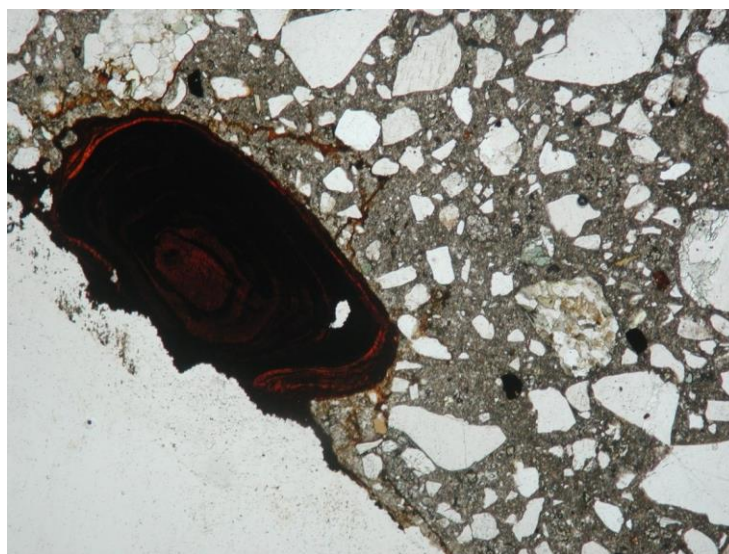
10454/OH/15

TUTKIMUSRAPORTTI

14 (14)



Kuva 3. Näyte H-1, pilari. Sideaineksen bikarbonatisoitumista. Näyte on kuvattu ristipolaroidussa valossa. Kuvan pitempi sivu n. 2,0 mm.



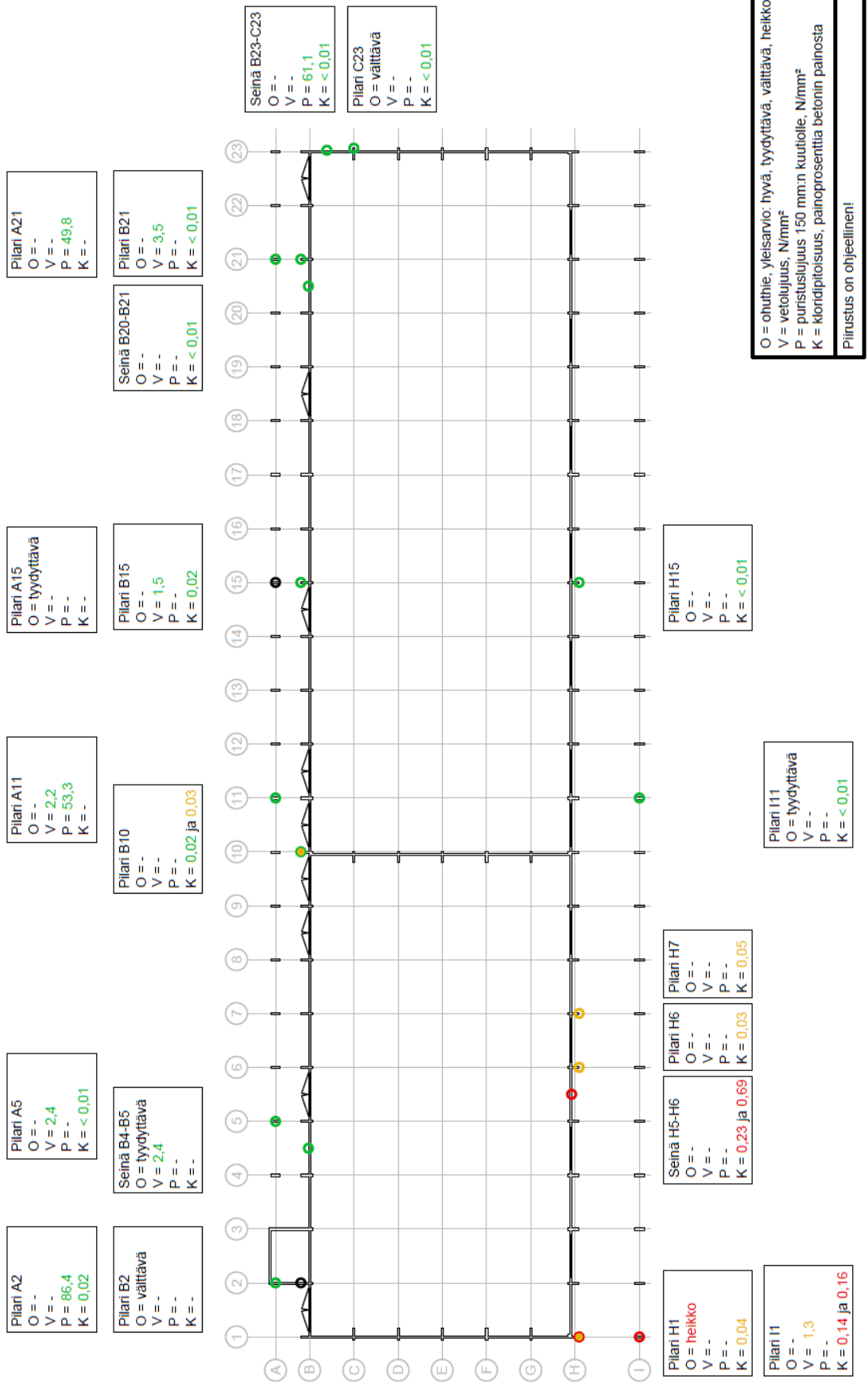
Kuva 4. Näyte B-4-5, ulkossinä. Teräskorroosio on alkanut ja teräksen pinnassa ja sideaineksessa havaittiin ruostetta. Näyte on kuvattu tasopolaroidussa valossa. Kuvan pitempi sivu n. 3,6 mm.

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut

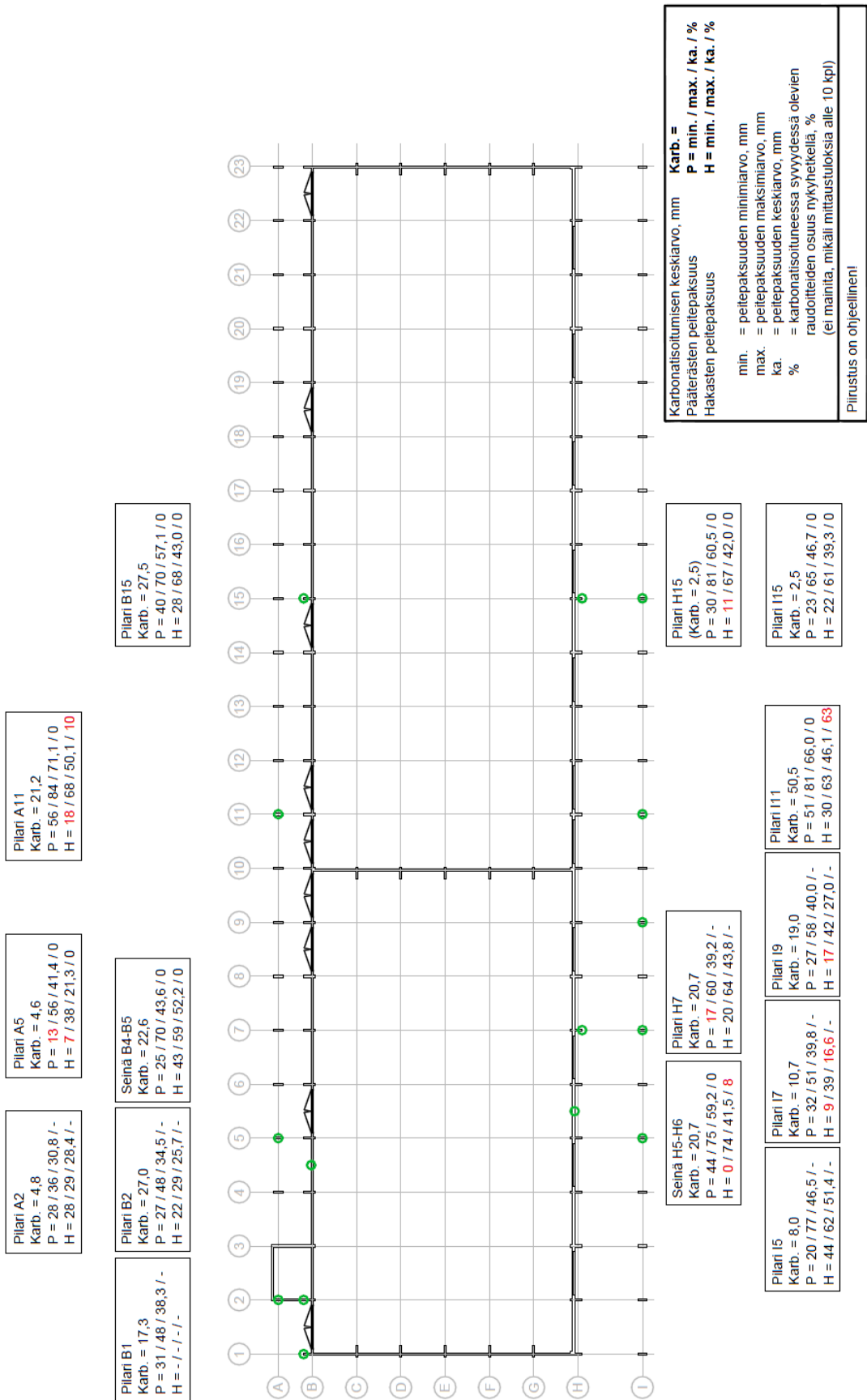
Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puhelin 0207 864 11

Kiviharjunlenkki 1 D
90220 OULU
Puhelin 0207 864 12

Y-tunnus 0875416-5
www.wspgroup.fi



O = onutchie, yleisarvio: hyvä, tyydyttävä, välttävä, heikko
 V = vetolujuus, N/mm²
 P = puristuslujuus 150 mm:n kuutiolle, N/mm²
 K = kloridipitoisuus, painoprosenttia betonin painosta
 Pilrustus on ohjeellinen!



Karbonatisoitumisen keskiarvo, mm Karb. =
 Pääterästen peitepaksuus P = min. / max. / ka. / %
 Hakasten peitepaksuus H = min. / max. / ka. / %

min. = peitepaksuuden minimiarvo, mm
 max. = peitepaksuuden maksimiarvo, mm
 ka. = peitepaksuuden keskiarvo, mm
 % = karbonatisoituneessa syvyydessä olevien rautoitteiden osuus nykyhetkellä, %
 (ei mainita, mikäli mittauksia alle 10 kpl)

Piirustus on ohjeellinen

moduulilinja	raudoitus- yyppi	raudoitteiden peitepaksuudet				karbonatisoitumissyvyyden keskiarvo, mm	karbonisoituneessa olevien raudoitteiden osuus, %		
		mittausten lukumäärä	MIN mm	MAX mm	peitepaksuuden keskiarvo, mm		nyt	5 vuoden kuluttua	10 vuoden kuluttua
B15	pääteräs	23	40	70	57,1	27,5	0%	0%	0%
	haka	24	28	68	43,0		0%	8%	13%
I15	pääteräs	25	23	65	46,7	2,5	0%	0%	0%
	haka	27	22	61	39,3		0%	0%	0%
H15	pääteräs	28	30	81	60,5	2,5	0%	0%	0%
	haka	13	11	67	42,0		0%	0%	0%
A11	pääteräs	24	56	84	71,1	21,2	0%	0%	0%
	haka	20	18	68	50,1		10%	10%	10%
I11	pääteräs	24	51	81	66,0	50,5	0%	8%	8%
	haka	24	30	63	46,1		63%	75%	75%
A5	pääteräs	10	13	56	41,4	4,6	0%	0%	0%
	haka	10	7	38	21,3		0%	0%	0%
I5	pääteräs	8	20	77	46,5	8,0	0%	-	-
	haka	8	44	62	51,4		0%	-	-
B4-B5	pysty	14	25	70	43,6	22,6	0%	0%	0%
	vaaka	13	43	59	52,2		0%	0%	0%
H5-H6	pysty	13	44	75	59,2	20,7	0%	0%	0%
	vaaka	13	0	74	41,5		8%	8%	15%
B1	pääteräs	3	31	48	38,3	17,3	0%	-	-
	haka	-	-	-	-		-	-	-
B2	pääteräs	6	27	48	34,5	27,0	0%	-	-
	haka	3	22	29	25,7		67%	-	-
A2	pääteräs	4	28	36	30,8	4,8	0%	-	-
	haka	5	28	29	28,4		0%	-	-
I9	pääteräs	5	27	58	40,0	19,0	0%	-	-
	haka	5	17	42	27,0		20%	-	-
H7	pääteräs	5	17	60	39,2	20,7	20%	-	-
	haka	5	20	64	43,8		20%	-	-
I7	pääteräs	4	32	51	39,75	10,7	0%	-	-
	haka	5	9	39	16,6		40%	-	-

HUOM. Punaisella merkityt tulokset eivät ole vertailukelpoisia mittaustulosten määrän vuoksi (mittauksia < 10 kpl).