



Tikkurilan lukiorakennuksen ulkoseinien rappauksen irtoamisen syiden selvittäminen

Tilaaaja: Vantaan kaupunki / Tilakeskus

| | |
|----------------------|--|
| Tilaja | Vantaan kaupunki Tilakeskus Kielotie 13 01300 VANTAA |
| Tilaus | Tilauksenne Juha Vuorenmaa 29.5.2012 |
| Yhteyshenkilö | VTT Expert Services Oy DI, Erityisasiantuntija Kalervo Orantie Kemistintie 3, Espoo, PL 1001, 02044 VTT Puh. 020 722 6919, Faksi 020 722 7003 Sähköposti Kalervo.Orantie@vtt.fi |

Tehtävä Tikkurilan lukiorakennuksen ulkoseinien rappauksen irtoamisen syiden selvittäminen

1 TIETOJA KOHTEESTA

Tikkurilan lukion julkisivuissa on havaittu paikoin vaurioita lähinnä etelään - kaakkoon avautuvilla julkisivuilla. Vaurioituminen on ilmennyt lähinnä kuultorappauksen ja laastin pintaosan irtoamisena. Jonkun verran kuultorappausta on irronnut myös yksittäisten tielten pinnalta.

Tikkurilan lukio on rakennettu pääosin vuonna 2002. Ensimmäinen julkisivujen vaurioitumista koskeva lausunto (*Fescon Oy*) on vuodelta 2008.

Pöyry Civil Oy:n 18.10.2010 päivätyssä lausunnossa on vertailtu suunnitelmia ja toteutuneen rakenteen tietoja (toteutuneen rakenteen tiedot *Contesta Oy:n* tutkimusselostuksesta *B-7101 M2*). Vertailun mukaan keskeinen poikkeama suunnitelmiin on muurauslaastityypissä, joka *Contesta Oy:n* raportin mukaan ei vastaa suunniteltua. Toisaalta *Weber Saint-Gobain:n 14.11.2011* päivätyn lausunnon mukaan muurauslaastityyppi vastaa suunniteltua.

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tilaja haluaa määritettäväksi seuraavat asiat:

- millä seinät on muurattu (*M100 / 600, KS* - laasti tai joku muu),
- miten ja missä kohdin rakenne poikkeaa suunnitellusta ja poikkeaman vaikutus seinärakenteen/pinnoitteen elinkaareen ja
- arvio korjausvaihtoehdoista.

Tilaaaja luovutti tutkimuksen käyttöön julkisivujen työpiirustuksia ja seuraavat rapautumista käsittelevät asiakirjat kommentoitavaksi koskien lähinnä mahdollisia tutkimusten välisiä ristiriitaisuuksia:

- *Fescon Oy*, lausunto Tikkurilan lukio /pinnoitteen irtoaminen. 3.10.2008.
- *Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy*, tutkimusselostus Nro 052809, 5.6.2009).
- *Contesta Oy*, tutkimusselostus B-7101M2, 8.10.2010.
- *Weber Saint-Gobain*, lausunto 14.11.2011.
- *Pöyry Civil Oy*, lausunto 6R02332.13-501, 18.10.2010.

Tilaaajan ilmoituksen mukaan työselityksessä on edellytetty tiilet muurattavaksi M100/600 muurauslaastilla, lujuusluokka 8. Muuraus on tehty tilaaajan mukaan lähinnä talvella ja kuultorappaus lämpimänä vuodenaikana.

3 JULKISIVUISTA IRROTETUT NÄYTTEET

Julkisivuista irrotettiin näytteitä samoilta alueilta kuin *Contesta Oy:n* tutkimusselostuksessa on irrotettu (nyt kolme irrotusaluetta). Näin menetellen oli mahdollista verrata nyt saatavia koetuloksia kahden vuoden takaisiin tuloksiin (saadaan käsitys mahdollisesta rapautumisvauhdista muurauslaastille ja tiilelle). Näytteenottokohdat olivat:

- T5, päällepäin ehjä kohta, pääsisäänkäyntijulkisivun oikealla puolella oleva itään aukeava osajulkisivu O - O, noin 2 metriä julkisivun vasemmasta reunasta ja noin 2 metriä räystäään alapuolelta.
- T6, rapautuneen kohdan vierestä päällepäin ehjästä kohdasta, etelään aukeava osajulkisivu P - P hammashoitolan yläpuolelta, leikkaus Q - Q (osajulkisivun O - O oikeassa reunassa)
- T2, päällepäin ehjä kohta, lounaaseen avautuva osajulkisivu B - B, vasemmalta lukien toisen ja kolmannen ikkunan välistä.

Näytteet irrotettiin \varnothing 75 mm timanttikoralla tiilen läpi poraamalla (kuvat 1 - 5). Kustakin näytteenottokohdasta irrotettiin kolme näytettä poraamalla tiilen läpi. Samalla katsottiin takana olevan ilmakerroksen ja osin lämmöneristekerroksen paksuudet. Näytteenottokohdat paikattiin muurauslaastilla M100 / 600.



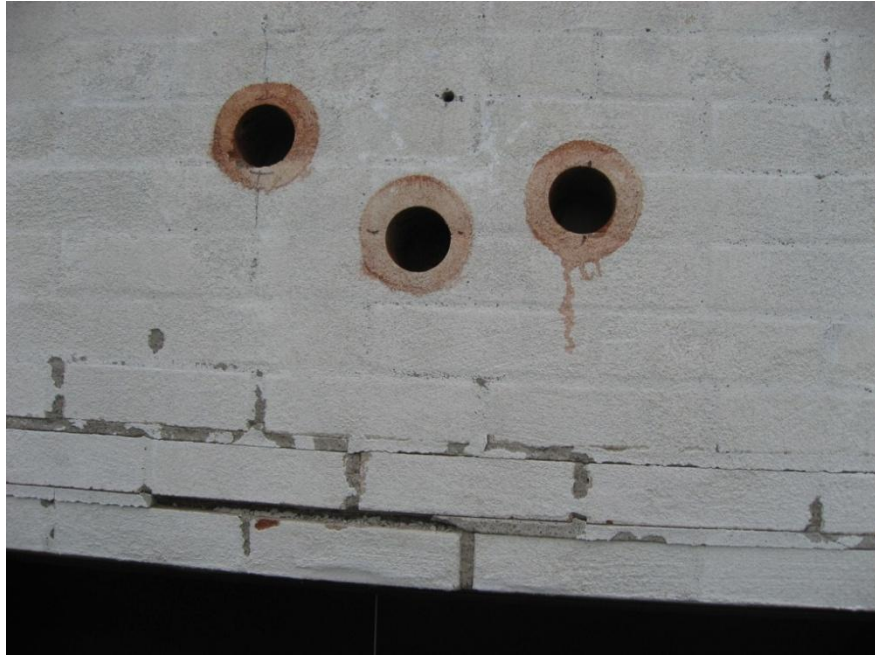
Kuva 1. Näytteenotto kohta T5 (päällepäin ehjä alue) pääsisäänkäynnin oikealla puolella olevan seinän yläosa.



Kuva 2. Näytteenotto kohta T6 (vaurioituneen alueen vieressä oleva silmämääräisesti tarkastellen ehjä kohta) hammashoitolan yläpuolella.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.



Kuva 3. Näytteenotto kohta T2 (vaurioituneen alueen yläpuolella oleva silmämääräisesti tarkastellen ehjä kohta) pääsisääntäjäntijulkisivun vasemmalla puolella olevan lounaaseen avautuvan julkisivun yläosa.



Kuva 4. Näytteenottokohdan T2 alapuolelta kuultorappaus on irronnut saumoista. Vaakasaumojen laasti on irronnut tiilestä. Silmämääräisesti näyttää siltä, että 2 alinta tiiliriviä on painunut hieman alaspäin.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.



Kuva 5. Näytteenottokohdan T2 yläpuolella on pitkä halkeama vaakasauman ja tiilen rajapinnassa. Silmämääräisesti näyttää siltä, että kymmenkunta alinta tiiliriviä on painunut hieman alaspäin.

4 LABORATORIOSSA TEHDYT KOKEET JA TUTKIMUKSET

- poraamalla irrotetuille näytteille silmämääräiset havainnot,
- kustakin näytteenottokohdasta laastianalyysi (*Florentin* menetelmä),
- kustakin näytteenottokohdasta kaksi mikrorakennepäilyä siten, että ohuthieeseen tuli mukaan laastia, kuultorappausta ja tiiltä,
- kustakin näytteenottokohdasta vetolujuus liimaamalla laastisauman laastin kumpaankin pintaan \varnothing 50 mm teräksiset vetokappaleet sen jälkeen, kun tiiliosa on ensin irrotettu sahaamalla näytteistä,
- kolme näytteenottokohdista poraamalla irrotettua näytettä (yksi kustakin näytteenottokohdasta) asetettiin toistuvaan jäädytys-sulatuskäsittelyyn 100 jakson ajaksi. Jäädytys-sulatuskäsittelyyn laitetuissa näytteissä ei ollut ennen koetta havaittavissa silmämääräisiä vahinkoja ja
- erikseen hankitulle muurauslaastille, *weber.vetonit ML 5 Muurauslaasti M 100/600*, tehtiin laastianalyysi ns. *Florentin* menetelmällä valmistamalla pieni koekappale lisäämällä oheen mukaisesti vettä 3 litraa / 25 kg kuiva - ainetta. Näyte jauhettiin 28 vrk:n iässä ja asetettiin karbonatisoitumaan 28 vrk:n ajaksi noin +20 C lämpötilaan ja noin 65 % suhteelliseen kosteuteen ennen laastianalyysiä.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

5 SILMÄMÄÄRÄISET HAVAINNOT NÄYTTEILLE

Yhtenäinen muurattu seinä itään, pääsisäänkäyntijulkisivun oikealla puolella oleva seinä, silmämääräisesti tarkastellen ehjä seinän osa:

- 3 kpl \varnothing 75 mm:n poralieriötä. Näytteet numeroitiin *Itä 1 - Itä 3* (kuva 6). Irrotuskohta oli noin 2 m räystäään alapuolelta ja noin 2 m seinän vasemmasta reunasta. Tiilen takana on noin 70 mm ilmarako,
- pystysaumanäyte *Itä 1* katkesi porattaessa. Näytteen pituudeksi muodostui noin 75 mm. Näytteessä ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää pystysauman koko näytteen matkalla. Näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn 100 jakson ajaksi,
- vaakasaumanäyte *Itä 2* porattiin tiilen läpi. Näytteessä ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää vaakasauman. Ohuthie tehtiin vaakasaumasta sekä vaakasauman ja tiilen rajapinnasta. Laastille tehtiin laastianalyysi,
- pystysaumanäyte *Itä 3* porattiin tiilen läpi. Näytteessä ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää sauman noin 90 mm syvyyteen asti. Laasti oli irti tai irtosi poratessa toisen tiilen päästä. Laastista määritettiin vetolujuus. Tiiliosa poistettiin sahaamalla ennen vetolujuuden määrittystä.



Kuva 6. Itään avautuvasta julkisivusta (ehjä alue) poraamalla irrotetut näytteet. Vasemman puoleinen näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn, keskimmäisestä näytteestä tehtiin kaksi ohuthiettä ja laastianalyysi. Oikeanpuoleisen näytteen laastista määritettiin laastin vetolujuus.

Räystäään alapuoli etelään (hammashoitolan yläpuolella):

- kuultorappausta on irronnut usean vaaka- ja pystysauman kohdalta ja ottanut mukaan laastia keskimäärin noin 1 mm. Tiilen takana on noin 70 mm ilmarako. Lämmöneristeen paksuus on noin 150 mm,
- 3 kpl \varnothing 75 mm poralieriötä vaurioituneen kuultorappauksen läheltä ehjästä kohdasta. Näytteet numeroitiin *Etelä 1 - Etelä 3* (kuva 7). Näytteet porattiin tiilen läpi. Irrotuskohta oli neljäs ja viides tiilirivi alhaaltapäin. Näin välttyttiin poraamasta vahingossa muurauksen kannatusteräksiä,
- pystysaumanäytteessä *Etelä 1* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää pystysauman noin 100 mm syvyyteen. Näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn 100 jakson ajaksi,
- pystysaumanäytteessä *Etelä 2* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää pystysauman noin 105 mm syvyyteen. Pystysaumasta tehtiin ohuthie. Laastille tehtiin laastianalyysi,
- vaakasaumanäytteessä *Etelä 3* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää vaakasauman 130 mm:n syvyyteen. Tiiliosa poistettiin sahaamalla ennen vetolujuuden määrittystä. Vaakasaumasta tehtiin ohuthie.



Kuva 7. Etelään avautuvasta julkisivusta (hammashoitolan yläpuolelta) poraamalla irrotetut näytteet. Näytteet on irrotettu ehjästä kohdasta läheltä vaurioitunutta kohtaa. Vasemman puoleinen näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn, keskimmäisestä näytteestä tehtiin ohuthie ja laastianalyysi. Oikeanpuoleisesta näytteestä tehtiin ohuthie ja määritettiin laastin vetolujuus.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Räystään alapuoli lounaaseen (vasemmalta lukien toisen ja kolmannen ikkunavyöhykkeen välistä)

- kuultorappausta on irronnut usean vaaka- ja pystysauman kohdalta ja ottanut mukaan laastia keskimäärin noin 1 mm kerroksen,
- kahdessa alimmassa vaakasaumassa on pitkä halkeama. Halkeilleissa saumoissa oleva betoniteräs (ainakin ulompi) on pitkälle ruostunut. Teräs sijaitsee noin 25 mm:n syvyydellä laastissa,
- betoniteräksen ja seinän ulkopinnan välinen noin 25 mm leveä laastin kaistale on irti ylä- ja alapuolisesta tiilestä ja on työntynyt monin paikoin ulospäin. Myös toiseksi ylimmän tiilirivin vaakasaumassa on pitkä halkeama,
- 3 kpl \varnothing 75 mm:n poralieriötä vaurioituneen kuultorappauksen läheltä ehjästä kohdasta. Näytteet numeroitiin *Lounas 1 - Lounas 3* (kuva 8). Näytteet porattiin tiilen läpi. Irrotuskohta oli neljäs ja viides tiilirivi alhaaltapäin. Näin välttyttiin poraamasta vahingossa muurauksen kannatusteräksiä.



Kuva 8. Lounaaseen avautuvasta julkisivun yläosasta poraamalla irrotetut näytteet. Näytteet on irrotettu ehjästä kohdasta läheltä vaurioitunutta kohtaa. Vasemman puoleinen näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn, keskimmäisestä näytteestä tehtiin ohuthie ja laastianalyysi. Oikeanpuoleisesta näytteestä tehtiin ohuthie ja määritettiin laastin vetolujuus.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

- pystysaumanäytteessä *Lounas 1* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää pystysauman noin 90 mm syvyyteen. Näyte asetettiin jäädytys - sulatuskäsittelyyn 100 jakson ajaksi,
- pystysaumanäytteessä *Lounas 2* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää pystysauman noin 70 mm syvyyteen. Pystysaumasta tehtiin ohuthie ja laastianalyysi,
- vaakasaumanäytteessä *Lounas 3* ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Laasti täyttää vaakasauman. Näytteen tiiliosa poistettiin sahaamalla ennen laastin vetolujuuden määrittystä.

Lounas yksi ohuthie vaakasauman ulkopinnassa irrallaan ollut noin 150 mm pituinen laastisuikale, tunnus *Sauma*:

- laastisuikale on irronnut ala- ja yläpuolisesta tiilestä. Laastisuikaleen takana noin 22 - 25 mm etäisyydellä laastin ulkopinnasta on pitkälle ruostunut betoniteräs,
- Kuultorappaus on paikoin irronnut ja on ottanut hieman laastia mukaansa. Muuten laastissa ei havaittu silmämääräisesti tarkastellen vaurioitumista.

Näytteen Itä 3 koputtelu:

- Näytteestä "*Itä 3*" porauksen yhteydessä irronnutta tiiliosaa koputeltiin irrottamisen jälkeen metalliesineellä. Kuului ehjälle tiilelle tyypillinen heleä sointi.

6 LAASTIN VETOLUJUUS

Vetolujuus määritettiin laastista standardin *SFS - EN 5445* mukaisesti. Ennen vetolujuuden määrittystä laastin molemmiin puolin olevat tiilen kappaleet poistettiin sahaamalla. Tämän jälkeen sahattuihin pintoihin liimattiin metalliset kiinnityskappaleet. Vetolujuustulokset esitetään *taulukossa 1*.

Taulukko 1. Laastin vetolujuus näytteiden irrottamisen jälkeen.

| Näytteen tunnus | Laastin mitat vetokappaleessa d x d x h mm | Laastin tiheys kg/m ³ | Laastin vetolujuus MN/m ² | Murtokohta |
|-----------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Itä 3 | 75 x 75 x 23 | 1680 | 1,8 | Laasti |
| Etelä 3 | 74 x 75 x 17 | 1640 | 1,8 | " |
| Lounas 3 | 73 x 65 x 16 | 1550 | 1,8 | " |

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

7 MIKRORAKENNEANALYYSI

Ohuthietutkimuksia varten näytteistä valmistettiin petrografiset ohuthienäytteet. Ohuthieet valmistettiin näytteiden ulkopinnasta alkaen, ulkopintaa vasten kohtisuorassa suunnassa.

Ennen preparointia näytepalat impregnoitiin vakuuissa fluoresoivaa väriainetta sisältävällä hartsilla. Impregnoidut näytteet liimattiin objektilasille ja ohennettiin timanttisahausta ja -hiontaa käyttäen siten, että näytteiden lopullinen koko oli n. 30 x 50 mm² x 25 µm.

Näytteet tutkittiin Leica DM LP -polarisaatio- ja fluoresenssimikroskoopilla. Ohuthieiden preparointi- ja tutkimusmenetelmä on esitetty standardeissa ASTM C856 ja NT Build 381.

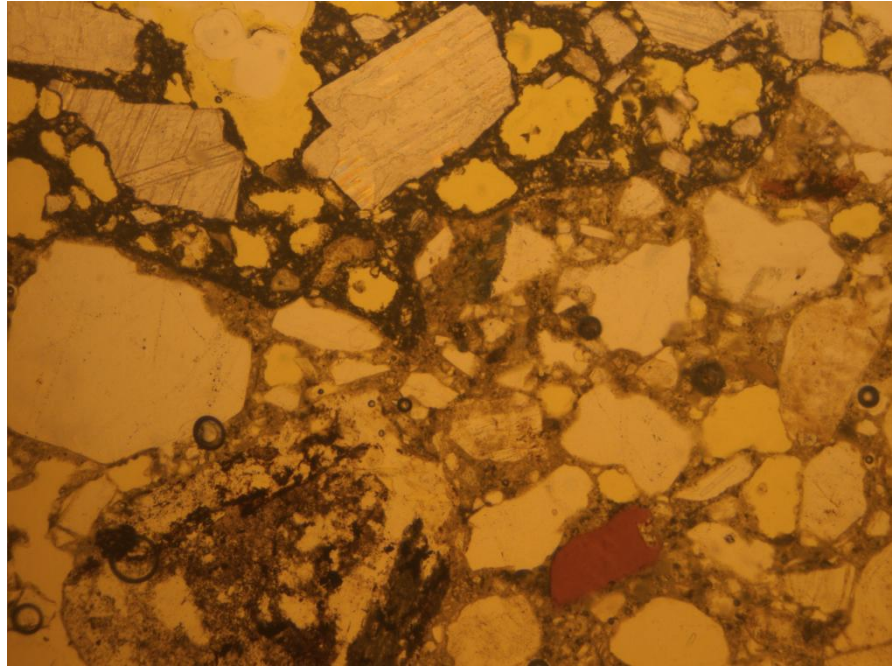
Näyte itä 2, vaakasauma:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 2 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta.

Kuultorappauksen ja laastin välinen tartunta on pääosin hyvä ja tiivis (*kuva 9*). Kuultorappauksessa on kuitenkin runsaasti harvatiiloja, jotka voivat heikentää kerroksen lujuutta ja paikoin myös kerroksen tartuntaa laastiin.

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on myös alle 0,23 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Laasti on karbonatisoitunut. Laastin kiviaineksen raekoko on pääosin alle 4 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Laastissa ei havaittu rapautumista eikä muuta merkittävää säröilyä / halkeilua.



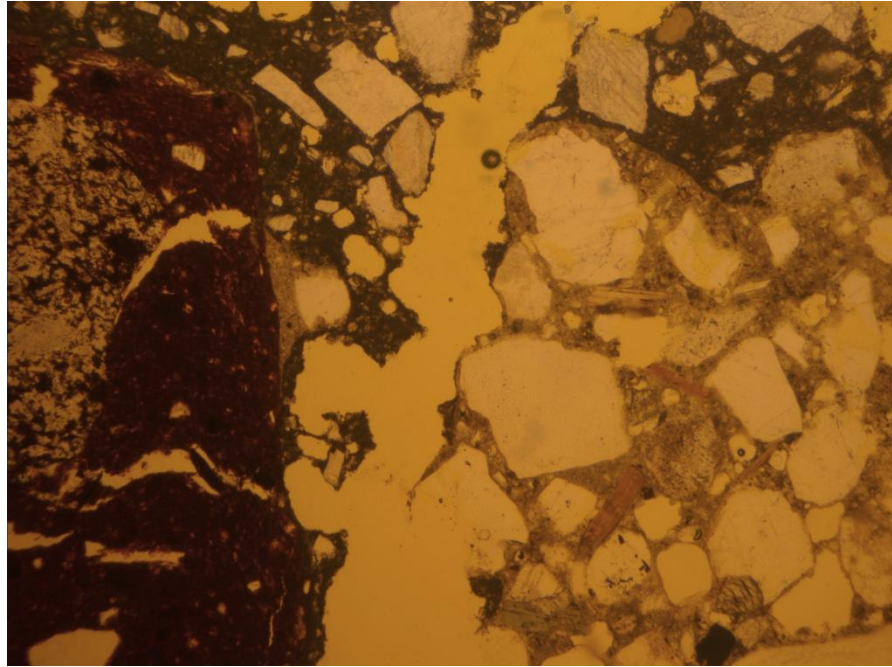
Kuva 9. Kuultorappaus näkyy kuvan yläosassa tummana kerroksena ja laasti vaaleampana kerroksena kuultorappauksen alapuolella. Kuultorappauksen ja laastin välinen tartunta on pääosin hyvä. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu vastaa näytteessä noin 2,3 mm.

Näyte itä 2, sauma, vaakasauman ja tiilen rajapinta:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 1,5 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Kuultorappauksen ja laastin välinen tartunta on pääosin hyvä ja tiivis. Laastin päällä esiintyvässä kuultorappauksessa on runsaasti harvatiloja. Tiilen kohdalla kuultorappauksessa harvatiloja on vähemmän. Tiilen ja kuultorappauksen välinen tartunta on hyvä ja tiivis (*kuva 10*) ja laastin ja kuultorappauksen välinen tartunta on pääosin hyvä.

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Laasti on karbonatisoitunut. Laastin kiviaineksen suurin raekoko on noin 4 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Laastissa ei ole näkyvissä säröilyä/halkeilua (*kuva 10*). Tiilessä on kohtalaisesti pääosin pinnansuuntaisesti suuntautunutta valmistuksen aikaista tekstuurisäröilyä. Tiilen pakkasenkestävyys on julkaisun VTT-1624 (1995) mukaisesti arviolta luokkaa indeksi 2.



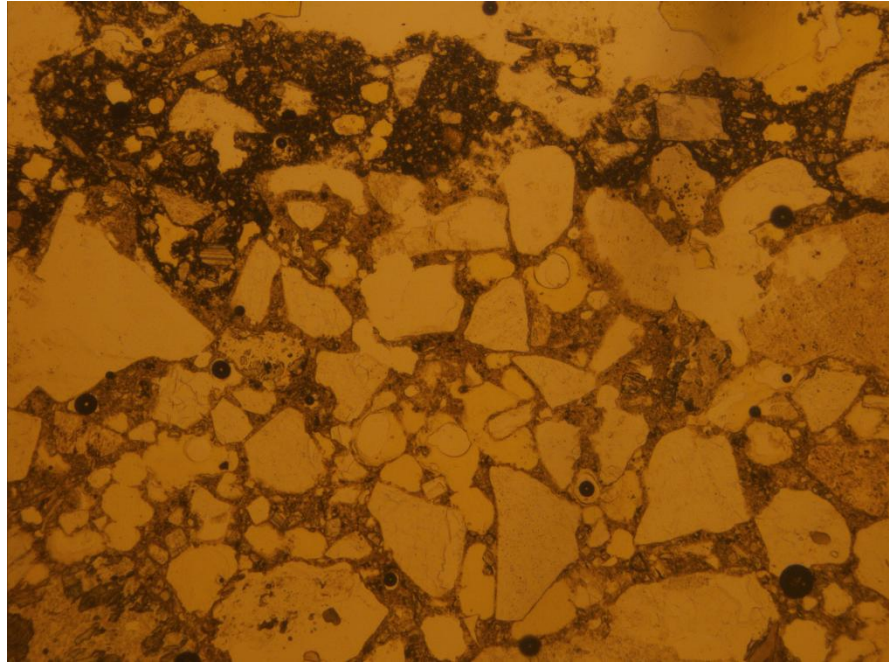
Kuva 10. Kuultorappaus näkyy yläosassa tummana kerroksena, tiili tumman punaisena alueena ja laasti kuultorappauksen alapuolella vaaleampana kerroksena. Tiilen ja kuultorappauksen väliset tartunnat ovat hyvät ja tiiviit Halkeamaa tai osa siitä on ilmeisesti tullut ohuthieen valmistuksen yhteydessä. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu vastaa näytteessä noin 2,3 mm.

Näyte lounas 2, ohuthie pystysaumasta:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 1 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Kerroksessa on pieniä kalkkipaakkuja. Harvatiiloja on vähän eikä säröilyä esiinny. Kuultorappaus on rakenteensa puolesta lujuudeltaan arviolta hyvää. Kuultorappauksen tartunta laastiin on yleisesti hyvä (kuva 11).

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Laastin kiviaineksen suurin raekoko on noin 6 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on hyvin laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Laastissa ei ole merkittävää säröilyä / halkeilua.



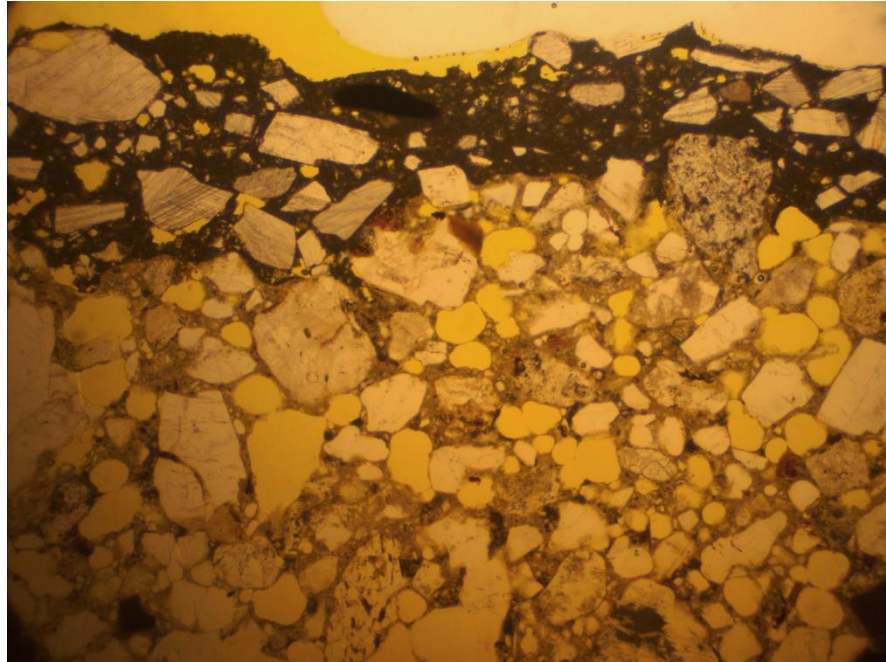
Kuva 11. Kuultorappauskerros näkyy kuvan yläosassa tummempana ohuena kerroksena ja laasti sen alapuolella vaaleampana kerroksena. Kuultorappauksen tartunta laastiin on hyvä ja tiivis. Laastissa esiintyy runsaasti harvatiloja. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu on noin 4,5 mm.

Näyte lounas, vaakasauma:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 2 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Kerroksessa on pieniä kalkkipaakkuja. Harvatiloja on vähän eikä säröilyä esiinny. Kuultorappaus on rakenteensa puolesta lujuudeltaan arviolta hyvää. Kuultorappauksen tartunta laastiin on yleisesti hyvä (kuva 12).

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Laastin kiviaineksen suurin raekoko on noin 3,5 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on laihaa. Laastin kiviaines - sideainejakauma on tasainen.

Laastissa ei ole merkittävää säröilyä/halkeilua.



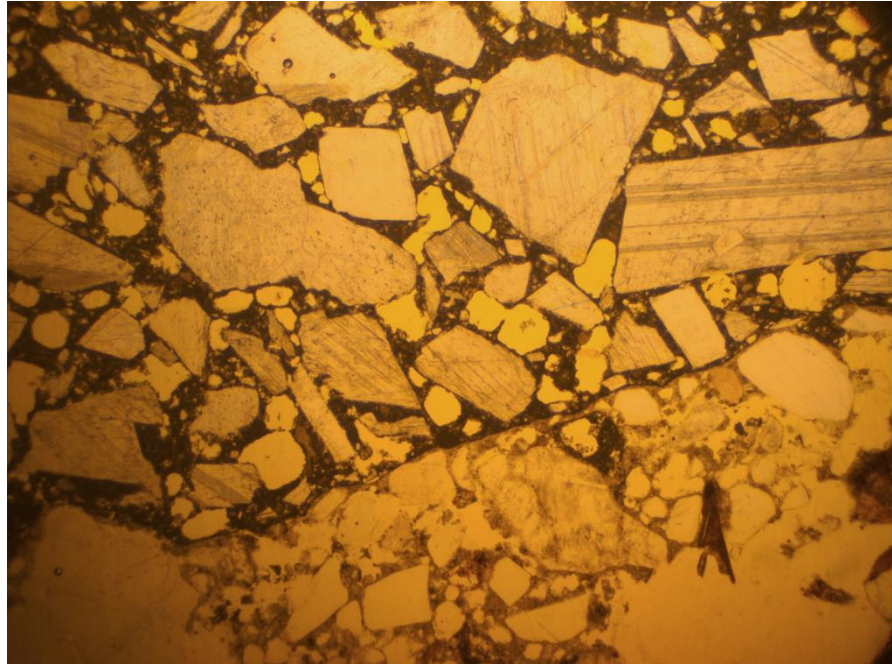
Kuva 12. Kuultorappauskerros näkyy kuvan yläosassa tummempana ohuena kerroksena ja laasti sen alapuolella vaaleampana kerroksena. Kuultorappauksen tartunta laastiin on hyvä ja tiivis. Laastissa esiintyvät harvatilat näkyvät keltaisina alueina. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu on noin 4,5 mm.

Näyte etelä 2, ohuthie pystysaumasta:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 5 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Kerroksessa on pieniä kalkkipaakkuja. Kuultorappauskerroksessa esiintyy melko runsaasti harvatiloja, jotka voivat heikentää kerroksen lujuutta. Säröilyä ei ole. Kuultorappauksen tartunta laastiin on yleisesti hyvä (kuva 13).

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Sementti on paikoin melko karkearakeinen. Laastin kiviaineksen suurin raekoko on noin 5,5 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on hyvin laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Laastissa esiintyy hyvin vähäistä ja paikallista kuivumissäröilyä. Laastissa ei havaittu muuta merkittävää säröilyä / halkeilua.



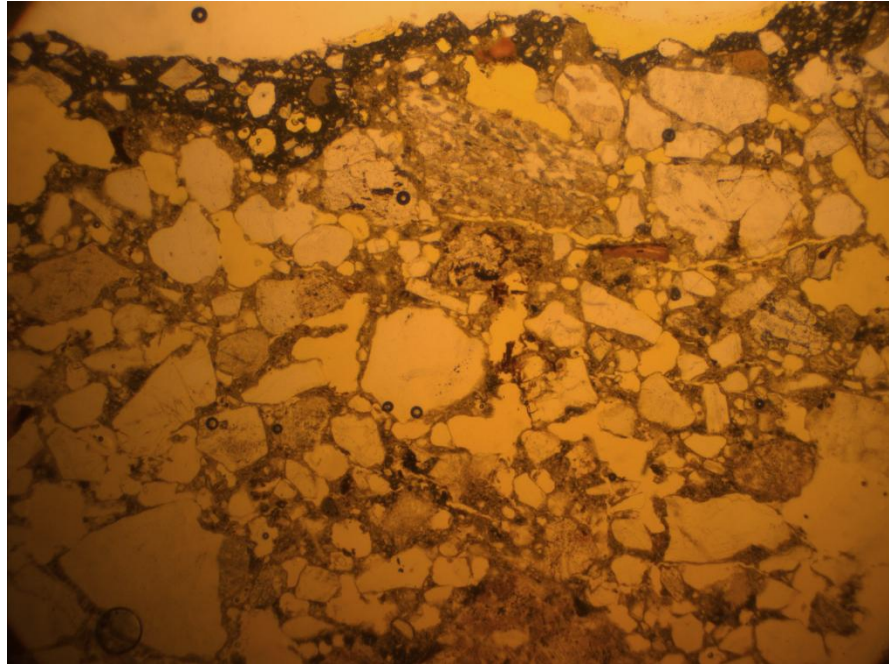
Kuva 13. Kuultorappauskerros näkyy yläosan tummana kerroksena, vaaleampi kerros on laastia. Kerrosten välinen tartunta on yleisesti hyvä. Kuultorappauskerroksessa ja laastissa näkyvät kirkkaat keltaiset alueet ovat harvatiloja. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu vastaa näytteessä noin 2,3 mm.

Näyte etelä 3, ohuthie vaakasaumasta:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 1 mm paksuinen kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista kalkkikivirakeista. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Kerroksessa on yksittäisiä pieniä kalkkipaakkuja. Harvatiloja on vähän eikä säröilyä esiinny. Kuultorappaus on rakenteensa puolesta lujuudeltaan arviolta hyvää. Kuultorappauksen tartunta laastiin on yleisesti hyvä (kuva 14).

Laastin sideaineen seosaineena on kuonaa. Sideaineessa on alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivirakeita. Sementti on paikoin melko karkearakeista. Kerroksessa ei ole merkittävää koostumusvaihtelua. Laastin kiviaineksen suurin rae-
koko on noin 5,5 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on hyvin
laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Laastin ulkopinnassa noin 4 mm syvyydelle asti on pinnansuuntaista, myötäilevää ja epäjatkuvaa säröilyä (kuva 14). Muuta merkittävää säröilyä / halkeilua ei havaittu.



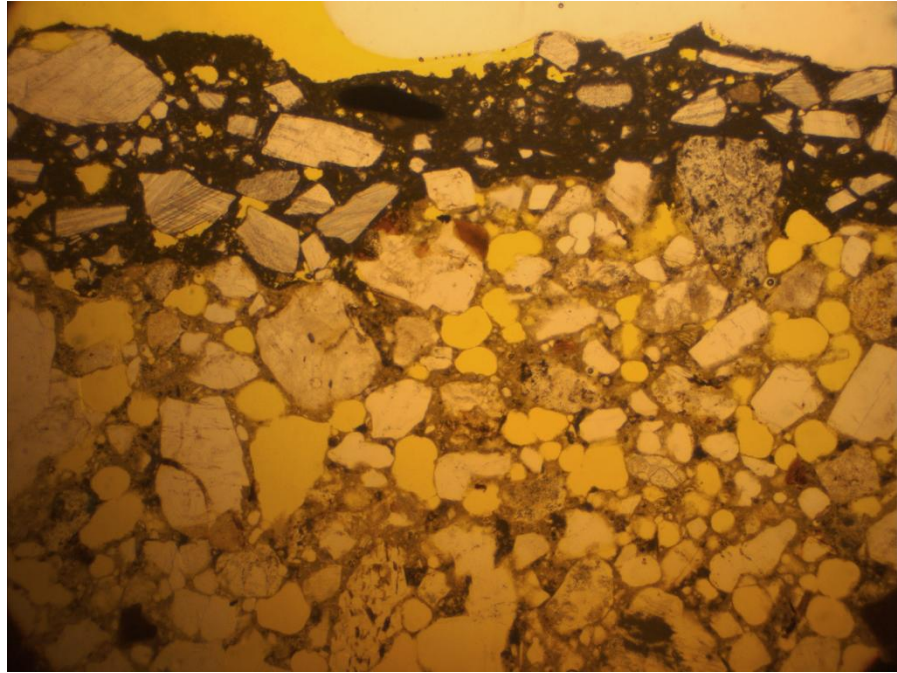
Kuva 14. Kuultorappauskerros näkyy kuvan yläosassa ohuena tummana kerroksena ja laasti sen alapuolella vaaleampana kerroksena. Kuultorappauksessa esiintyy harvatiloja vähän, mutta laastissa harvatiloja on runsaasti (keltaiset alueet). Laastin ulkopinnassa on pinnansuuntaista säröilyä. Kerrosten välinen tartunta on hyvä. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu vastaa näytteessä noin 4,5 mm.

Näyte lounas, ohuthie vaakasaumasta:

Ulkopinnassa esiintyy enimmillään noin 2,0 mm paksu kuultorappauskerros. Kuultorappauksen kiviaines koostuu pääosin kulmikkaista kalkkikivenkappaleista. Runkoaines on ehjää ja rapautumatonta. Kerroksessa on nähtävissä pieniä kalkkipaakkuja. Harvatiloja on nähtävissä vähän eikä säröilyä esiinny lainkaan. Kuultorappaus on rakenteensa puolesta lujuudeltaan arviolta hyvää. Kuultorappauksen tartunta muurauslaastiin on yleisesti hyvä (kuva 15).

Muurauslaastin sideaine on koostumukseltaan sementtiä, jonka seosaineena on käytetty kuonaa. Sideaineessa on nähtävissä alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivikappaleita. Muurauslaastin hiekan suurin raekoko on näytteessä noin 3,5 mm. Runkoaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on laihaa. Laastin runko- ja sideainejakauma on tasainen.

Muurauslaastissa ei ole nähtävissä merkittävää säröilyä/halkeilua.



Kuva 15. Kuultorappauskerros näkyy kuvan yläosassa tummempana ohuena kerroksena ja muurauslaasti sen alapuolella vaaleampana kerroksena. Kuultorappauksen tartunta muurauslaastiin on hyvä ja tiivis. Muurauslaastissa esiintyvät harvatilat näkyvät keltaisina alueina. Kuva tasopolarisoidussa valossa ja kuvan pidempi sivu on noin 4,5 mm.

Laastin ilmamäärä

Laastin ilmamäärä määritettiin näytteistä "Itä 2" ja "Lounas 2" Point count analyysillä, taulukko 2.

Taulukko 2. Laastin ilmamäärät Point count analyysillä.

| Näyte | Huokoset > 0,8 mm, til - % | Huokoset ≤ 0,8 mm, til - % | Huokoset yhteensä, til - % |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Itä 2 | 0,79 | 16,8 | 17,6 |
| Lounas 2 | 0,38 | 15,9 | 16,3 |
| Keskiarvo | | | 17,0 |

Yhdestä laastinäytteestä määritettiin pakkasenkestävyyttä kuvaava ns. huokosjako. Huokosjaon arvoksi määritettiin 0,06. Arvo täyttää siten betonille tavallisesti asetetun arvon 0,25 tai 0,27 mm.

Mikrorakenneanalyysin yhteenveto esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Mikrorakenneanalyysin yhteenveto poraamalla irrotetulle näytteille heti irrottamisen jälkeen (ei jäädytys sulatuskäsittelyä laboratoriossa).

| Näyte | Säröt / halkeamat | Laastin kosketus tiileen | Kuultorappauksen tartunta laastiin | Kuultorappauksen tartunta tiileen |
|-------------------|---|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Itä vaakasauma | Ei ole | Paikoin huono | Hyvä | Hyvä |
| Lounas pystysauma | Ei ole | | " | |
| Lounas vaakasauma | Ei ole | | " | |
| Etelä pystysauma | Ei ole | | " | |
| Etelä vaakasauma | Myötäilevää epäjatkovaa säröilyä laastin ulkopinnassa | | " | |

8 JÄÄDYTYKSEN - SULATUKSÄSITTELY

8.1 Silmämääräiset havainnot näytteistä jäädytys - sulatuskäsittelyn aikana ja sen jälkeen

Näytteet *Itä 1*, *Etelä 1* ja *Lounas 1* asetettiin 100 jakson ajaksi jäädytys - sulatuskäsittelyyn +20 °C - - 20 °C, sulatus noin + 20 °C lämpöisellä vedellä. Näytteille tehtiin silmämääräiset havainnot noin 25 jakson välein. Havainnot esitetään *kuvissa 16 - 21*.

Laastissa ei havaittu kokeen aikana eikä sen jälkeen silmämääräisesti tarkastellen vaurioita.

Kuultorappaus irtosi lähes kokonaan jäädytys - sulatuskäsittelyn aikana.

Näytteiden tiiliosissa ei havaittu kokeen aikana eikä sen jälkeen silmämääräisesti tarkastellen vaurioita. Jäädytys - sulatuskäsittelyn jälkeen metalliesineellä koputtelemalla havaittiin kuitenkin, että näytteiden "*Lounas 1*" ja "*Etelä 1*" tiiliosista ei kuulunut tiilelle tyypillistä heleää sointia. Näytteen "*Itä 1*" tiiliosaa ei koputeltu pienen koon vuoksi.



Kuva 16. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetetut näytteet 26 jakson jälkeen. Näytteissä "Itä" (vasemmalla) ja "Etelä" (oikealla) laastin ja tiilen välinen tartunta on pettänyt kummastakin tiilestä. Näytteessä "Lounas" tartunta on pettänyt toisesta tiilestä. Oikeanpuoleisissa näytteissä kuultorappaus on irronnut laastin kohdalla.



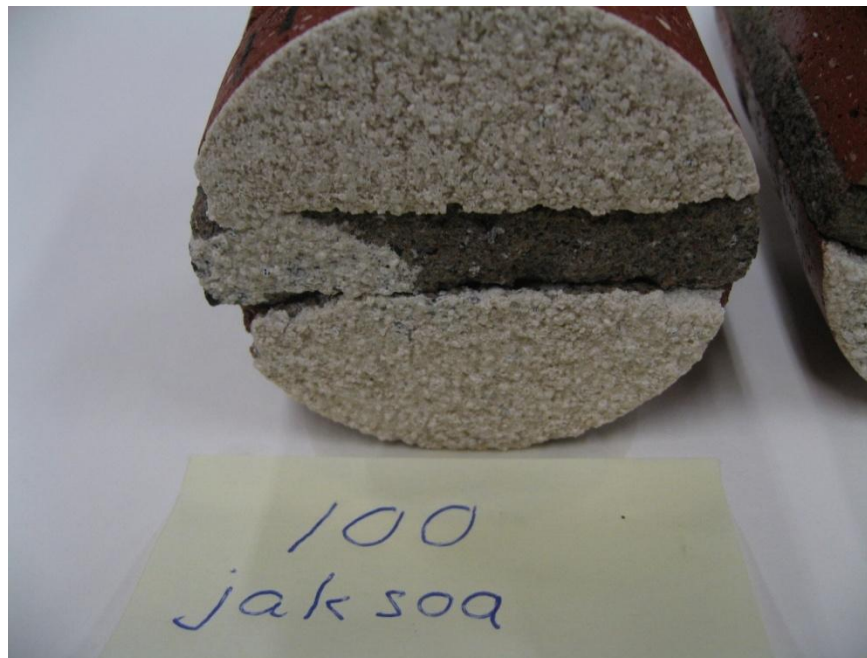
Kuva 17. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetetut näytteet 49 jakson jälkeen. Kaikissa näytteissä laastin ja tiilen välinen tartunta on pettänyt. Oikeanpuoleisissa näytteissä kuultorappaus on irronnut varsinkin laastin kohdalla.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.



Kuva 18. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetetut näytteet 75 jakson jälkeen. Oikeanpuoleisten näytteiden kuultorappaus on irronnut lähes kokonaan ja mukana hieman laastia. Vasemmanpuoleisen näytteen kuultorappaus on irronnut osittain laastin kohdalta



Kuva 19. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetettu näyte "Itä 1" 100 jakson jälkeen. Kuultorappauslaasti on irronnut laastin kohdalta lähes kokonaan ja mukana hieman laastia.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.



Kuva 20. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetettu näyte "Lounas 1" 100 jakson jälkeen. Kuultorappauslaasti on irronnut laastin ja tiilen kohdalta lähes kokonaan ja mukana hieman laastia.



Kuva 21. Jäädytys - sulatuskäsittelyyn asetettu näyte "Etelä 1" 100 jakson jälkeen. Kuultorappauslaasti on irronnut laastin ja tiilen kohdalta lähes kokonaan ja mukana hieman laastia.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen missään muussa muodossa mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

8.2 Laastin vetolujuus jäädytys - sulatuskäsittelyn jälkeen

Näytteen "Lounas 1" vetolujuus määritettiin 100 jäädytys - sulatusjakson jälkeen. Vetolujuus esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Laastin vetolujuus 100 jäädytys-sulatusjakson jälkeen.

| Näytteen tunnus | Laastin mitat vetokappaleessa d x d x h mm | Laastin tiheys kg/m ³ | Laastin vetolujuus MN/m ² | Murtokohta |
|-----------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Lounas 1 | 73 x 77 x 12 | 1530 | 1,3 | Laasti |

8.3 Laastin mikrorakenne jäädytys - sulatuskäsittelyn jälkeen

Näytteen tunnus "Etelä 1":

Ohuthie tehtiin laastista alkaen laastin ulkopinnasta. Laastin sideaine on koostumukseltaan sementtiä, jonka seosaineena on käytetty kuonaa. Sideaineessa on paikoitellen nähtävissä alle 0,20 mm suuruisia kalkkikivikappaleita.

Sementti esiintyy paikoitellen hieman karkearakeisena. Laastin hiekan suurin raekoko on noin 5,0 mm. Kiviaines on ehjää ja rapautumatonta. Laasti on hyvin laihaa. Laastin kiviaines- ja sideainejakauma on tasainen.

Kiviaines- ja sideainetartunnat ovat pääosin hyvät ja tiiviit. Laastissa ei havaittu rapautumista eikä muuta merkittävää säröilyä/halkeilua.

9 LAASTIANALYYSI

Laastianalyysi tehtiin näytteistä "Itä 2", "Lounas 2", "Etelä 2" ja "M100/600".

Näyte "M100/600" edusti muuraussementistä M100/600 valmistettua laasti-prismaa, joka oli säilytetty valmistamisen jälkeen 28 vrk vähintään 95 % suhteellisessa kosteudessa ja noin +20 °C lämpötilassa sekä tämän jälkeen jauhettuna noin 56 vrk noin 65 % suhteellisessa kosteudessa ja noin +20 °C lämpötilassa.

Laastien koostumus määritettiin märkäkemiallisella *Florentin* - menetelmällä (*FL*) ja termoanalyttisesti (*TG*). *Florentin* - menetelmällä selvitettiin näytteistä happoon liukenemattoman kiviaineksen määrä, happoon liukenevan sideaineen määrä sekä sideainelaji happoon liukenevan piidioksidin, SiO₂, ja kalsiumoksidin, CaO, määrien perusteella.

Termoanalyysillä määritettiin näytteiden sisältämä kalsiumhydroksidi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ja kalsiumkarbonaatti, CaCO_3 . Termokäyriä käytettiin myös näytteiden mahdollisesti sisältämien muiden hajoavien komponenttien havaitsemiseen ja tunnistamiseen.

Mittaustulokset ja niiden perusteella laaditut näytteiden laskennalliset koostumukset esitetään *taulukossa 5*.

Laastinäytteiden termoanalyyseissa todettiin tapahtuvan vain suhteellisen vähäistä painohäviötä välillä $20\text{ °C} - 400\text{ °C}$. Painohäviöt, 1,0 - 1,3 p - %, liittyivät oletettavasti lähinnä sementistä muodostuneiden yhdisteiden, hydrataatiotuotteiden, hajoamiseen.

Näytteissä ei todettu orgaanisia komponentteja. Näytteiden ei havaittu myöskään sisältävän kalsiumhydroksidia lukuun ottamatta näytettä "M100/600", jossa hydroksidia todettiin noin 1 %. Korkeammissa lämpötiloissa näytteiden TG - käyrässä ei havaittu muita ilmiöitä kuin kalsiitin hajoaminen.

Sen sijaan laastien DTA - käyrissä voitiin todeta myös kivaineksen sisältämän kvartsin kidemuodon (noin 575 °C lämpötilassa) muuttumiseen liittyvä endoterminen efekti.

Analyysien perusteella kaikki laastit olivat laskennallisesti ottaen kalkkisementtilaasteja, joiden seossuhteet (kalkki/sementti/hiekka) olivat:

| | |
|------------------|-----------|
| Näyte "Itä 2" | 20/80/575 |
| Näyte "Etelä 2" | 20/80/605 |
| Näyte "Lounas 2" | 30/70/655 |
| Näyte "M100/600" | 40/60/610 |

Saatujen tietojen mukaan kohteessa on käytetty muurausementtiä. Ainakin vertailuna toiminut näyte "M100/600" oli muurausementtiä, koska se ostettiin erikseen rautakaupasta.

Taulukko 5. Analyysitulokset ja laastinäytteiden laskennallinen koostumus paino-osina.

| Tutkittu ominaisuus | Itä 2 p-% | Lounas 2 p-% | Etelä 2 p-% | M100/600 p-% |
|------------------------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Happoon liukeneva | 17,88 | 16,51 | 17,44 | 17,17 |
| Happoon liukenematon | 82,12 | 83,49 | 82,56 | 82,83 |
| CaO, liukeneva | 8,31 | 7,42 | 7,86 | 8,28 |
| SiO ₂ , liukeneva | 2,63 | 2,14 | 2,57 | 1,91 |
| Ca(OH) ₂ | - | - | - | 1,09 |
| CaCO ₃ | 9,52 | 8,99 | 9,79 | 8,72 |
| Seossuhteet K/S/H * | | | | |
| FL | 13/87/579 | 24/76/674 | 11/89/613 | 40/60/619 |
| TG | 26/74/574 | 33/67/632 | 27/73/592 | 42/58/603 |
| Keskiarvo ** | 20/80/575 | 30/70/655 | 20/80/605 | 40/60/610 |

10 RISTIRIITÄISUUDET TILAAJAN TOIMITTAMISSA ASIAKIRJOISSA

Finnsementti Oy:n Parmu - muuraussementissä on portlandsementtiä 40 - 65 % ja granuloitua masuunikuonaa 10 - 15 % (*Parmu - käyttöturvallisuustiedote*) sekä kalkkikiveä noin 35 %. Kotimaisen portlandsementtiklinkkerin liukoisien piin (SiO₂) määrä on noin 21 %. Kotimaisen granuloidun masuunikuonan liukoisien piin määrä on 36 - 40 %.

Käytetään laskelmissa *Parmu* - muuraussementin koostumuksena portlandsementtiklinkkeri 55 %, kalkkikivi 35 % ja masuunikuona 10 %. Liukoisien piin laskennallinen määrä *Parmu* - muuraussementissä on tällä oletuksella noin:

$$0,55 \times 21 \% + 0,1 \times 36 \% = 15 \%$$

Ja edelleen *Parmu* muurauslaastissa *M 100/600* liukoisien piin laskennallinen määrä on noin:

$$(100/700) \times 15 \% = 2 \%$$

Jos portlandsementtiklinkkerin osuus *Parmu* - muuraussementissä on vähäisempi kuin 55 %, liukoisien piin määrä voi olla hieman alle 2 %.

Contesta Oy:n raportti:

- *Contesta Oy:n* raportin *B-701M2* liitteenä on *Nordkalk Oy Ab:n* raportti, jossa on määritetty *Florentin* liuotusta käyttäen muurauslaastien kalkki-, sementti- ja hiekkamäärät neljälle julkisivuista irrotetulle näytteelle.
- *Nordkalk Oy:n* raportin mukaan liukoisen piin (SiO_2) määrä on 0,80 % (näyte T1), 1,4 % (näyte T2), 0,7 % (näyte T3) ja 0,89 % (näyte T5). Keskiarvo on noin 0,95 %.
- *Nordkalk Oy:n* raportin mukaan näytteet ovat kalkkisementtilaasteja (KS) luokkaa 80/20/565 (näyte T1), 75/25/335 (näyte T2), 85/15/550 (näyte T3) ja 80/20/500 (näyte T5).

Liukoisen piin määrä näytteissä on keskimäärin noin 50 % muuraus-sementtilaastin *M 100/600* laskennallisen piin määrästä. Tämän mukaisesti näytteet eivät liukoisen piin osuuden perusteella ole muuraus-sementtilaastia *M 100/600*, jos liukoisen piin määrä on laskettu oikein.

Saint - gobain Weber Oy Ab:n raportti:

- *Saint - Gobain Weber Oy Ab:n* lausunnon 14.11.2011 liitteenä on *Nordkalk Oy Ab:n* raportti, jossa on määritetty koostumus *Florentin* liuotusta käyttäen lähtien siitä, että kyseessä on muurauslaasti, jossa on käytetty *Parmu* sementtiä.
- Näytteet 1 - 4 ovat *Tikkurilan lukiota* ja näyte 5 *SG Weber Pitäjänmäen* konttorin 5. kerroksesta.
- *Nordkalk Oy:n* raportin mukaan liukoisen piin (SiO_2) määrä on 1,2 % (näyte 1), 0,8 % (näyte 2), 1,0 % (näyte 3), 0,87 % (näyte 4) ja 1,3 % (näyte 5). Keskiarvo on noin 1,05 %.
- *Nordkalk Oy:n* raportin mukaan kaikki näytteet ovat *M* laasteja.

Liukoisen piin määrä näytteissä on keskimäärin noin 50 % muuraus-sementtilaastin *M 100/600* laskennallisen piin määrästä. Tämän mukaisesti näytteet eivät liukoisen piin osuuden perusteella ole muuraus-sementtilaastia *M 100/600*, jos liukoisen piin määrä on laskettu oikein.

11 TULOSTEN TARKASTELU

Julkisivujen läpi poraamalla irrotettiin näytteitä kolmesta kohdasta. Näytteenottokohta "Itä" oli silmämääräisesti tarkastellen ehjä, eikä näytteenottokohdan ympäristössäkään havaittu vaurioitumista. Näytteenottokohta "Etelä" sijaitsi aivan vaurioituneen alueen vieressä. Näytteenottokohta "Lounas" sijaitsi aivan vaurioituneen alueen yläpuolella.

Näytteet "Itä":

- yhden näytteen tiiliosa irtosi näytteen irrotuksen yhteydessä (huono laastin ja tiilen välistä tartunta). Tiiliosaa koputeltiin metalliesineellä. Heleä sointi osoitti, että tiiliosassa ei ollut pakkasvauriota,
- muuten näytteissä ei havaittu silmämääräisiä vaurioita irrottamisen yhteydessä. Myöskään mikrorakennetutkimuksen mukaan kuultorappauksessa, laastissa tai näiden rajapinnassa ei ole säröilyä eikä halkeilua. Laasti on huokosjakoon perustuen pakkasenkestävä. Tiilen ja laastin rajapinta on paikoin avoin (kosketus ei ole täydellinen), mikä ilmeisesti selittää tiiliosan irtoamisen näytteen irrotuksen yhteydessä. Laastille määritettyä vetolujuutta $1,8 \text{ MN/m}^2$ voidaan pitää hyvänä,
- tiilessä esiintyy kohtalaisesti pääosin pinnansuuntaisesti suuntautunutta valmistuksen aikaista tekstuurisäröilyä. Tiilen pakkasenkestävyys on julkaisun VTT-1624 (1995) mukaisesti arviolta luokkaa indeksi 2 (paukallisia vaurioita pakkasrasituksessa),
- jäädytys - sulatuskäsittelyssä näytteen molemmat tiiliosat olivat irti 26 jakson jälkeen. Kuultorappaus oli osittain irti laastista 75 jakson jälkeen. 100 jakson jälkeen kuultorappaus oli lähes kokonaan irti laastin kohdalta ja alkavaa irtoamista tiiliosan pinnalta ja
- laboratoriossa tehdyn jäädytys - sulatuskäsittelyn perusteella laastin ja tiilen välinen tartunta ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista, kun materiaalit ovat veden kyllästämät. Myöskään kuultorappauksen tartunta laastiin/tiileen ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista, kun materiaalit ovat veden kyllästämät.

Näytteet "Lounas":

- näytteissä ei havaittu silmämääräisiä vaurioita irrottamisen yhteydessä. Mikrorakennetutkimuksen mukaan kuultorappauksessa, laastissa tai näiden rajapinnassa ei ole säröilyä eikä halkeilua. Laasti on huokosjakoon perustuen pakkasenkestävä. Laastille määritettyä vetolujuutta $1,8 \text{ MN/m}^2$ voidaan pitää hyvänä,

- laastille vetolujuus määritettiin myös 100 jäädytys - sulatusjakson jälkeen. Vetolujuudeksi määritettiin $1,3 \text{ MN/m}^2$. Vetolujuuksien suhde on 0,72, joten laasti voidaan katsoa pakkasenkestäväksi myös jäädytys - sulatuskäsittelyyn perustuen,
- jäädytys - sulatuskäsittelyssä näytteen toinen tiiliosa oli irti 26 jakson jälkeen ja molemmat tiiliosat 49 jakson jälkeen. Kuultorappaus oli pitkälti irti laastista 75 jakson jälkeen. 100 jakson jälkeen kuultorappaus oli kokonaan irti laastin kohdalta ja lähes kokonaan tiiliosien pinnalta ja
- laboratoriossa tehdyn jäädytys - sulatuskäsittelyn perusteella laastin ja tiilen välinen tartunta ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista, kun materiaalit ovat veden kyllästävät. Myöskään kuultorappauksen tartunta laastiin/tiileen ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista, kun materiaalit ovat veden kyllästävät. Tiiliosia koputeltiin metalliesineellä 100 jakson jälkeen. Tiilelle tyypillistä heleää sointia ei kuulunut.

Näytteet "Etelä":

- näytteissä ei havaittu silmämääräisiä vaurioita irrottamisen yhteydessä. Laastille määritettyä vetolujuutta $1,8 \text{ MN/m}^2$ voidaan pitää hyvänä,
- mikrorakennetutkimuksen mukaan näytteen kuultorappauksessa tai kuultorappauksen ja laastin rajapinnassa ei havaittu säröilyä eikä halkeilua. Laasti voidaan katsoa pakkasenkestäväksi ilmahuokosten huokosjakoon perustuen. Laastin ulkopinnassa noin 4 mm syvyyteen asti esiintyy epäjatkuvaa kapeata säröilyä ja
- jäädytys - sulatuskäsittelyssä näytteen molemmat tiiliosat olivat irti 26 jakson jälkeen. Kuultorappaus oli pitkälti irti laastista 26 jakson jälkeen. 49 jakson jälkeen kuultorappausta oli irronnut myös tiilikappaleiden pinnalta.

12 MITEN JA MISSÄ KOHDIN RAKENNE POIKKEAA SUUNNITELLUSTA JA POIKKEAMAN VAIKUTUS SEINÄRAKENTEEN/PINNOITTEEN ELINKAAREEN

Näytteet, jotka sisälsivät kuultorappausta, tiiltä ja laastia, irrotettiin julkisivuista silmämääräisesti tarkastellen vaurioitumattomista kohdista, joskin osa irrotettiin aivan vaurioituneen alueen vierestä. Silmämääräisesti tarkastellen näytteissä ei havaittu vaurioitumista.

Näytteille tehdyn mikrorakenneanalyysin mukaan yhden näytteen (julkisivu etelään, vauriokohdan vierestä) laastissa oli pinnansuuntaista, myötäilevää, epäjatkuvaa säröilyä noin 4 mm:n syvyyteen laastin ulkopinnasta. Julkisivuissa käytetyn laastin vetolujuus todettiin hyväksi, joten mitä ilmeisimmin säröily on muodostunut jo varhaisessa vaiheessa muurauksen yhteydessä (mahdollisesti jäätyamisen seurauksena). Muuten näytteissä ei laboratoriokokeiden (laastin vetolujuus, mikrorakenneanalyysi) perusteella havaittu merkkejä vaurioitumisesta (= kunto näytteiden irrotushetkellä).

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Laboratoriossa osalle näytteitä tehtiin 100 jakson jäädytys - sulatuskäsittely. Jäädytys - sulatuskäsittelyn perusteella laastin ja tiilen välinen tartunta ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista, kun materiaalit ovat märkiä. Myöskään kuultorappauksen tartunta laastiin/tiileen ei kestä toistuvaa jäätymistä ja sulamista. Näytteistä jäädytys - sulatuskäsittelyn aikana irronneita tiiliosia koputeltiin metalliesineellä 100 jakson jälkeen. Heleää sointia ei kuulunut. Tämän perusteella arvioituna tiiliosiin on muodostunut jäädytys - sulatuskäsittelyn aikana sisäisiä vaurioita.

Standardin *SFS 5513 "Muurauslaastien, muurauskivien ja muuratun rakenteen testaus"* mukaan pakkasenkestävyys määritetään kokeella, jossa muurauskivet jäädytetään ja sulatetaan 25 kertaa peräkkäin 15 - 20 °C lämpöisellä vedellä ja jäädytetään siten, että lämpötila laskee kiven sisäosissa -15 °C:een (*menetelmä I*). Standardin mukaisesti kokeen tulos arvioidaan silmämääräisesti.

Tämän mukaan näytteiden tiiliosat voidaan katsoa pakkasenkestäviksi, vaikka niihin oli 100 jakson aikana muodostunut koputteluhavainnon perusteella mikrosäröilyä. Laasti todettiin pakkasenkestäväksi 100 jakson jälkeen tehdyllä vetokokeella ja huokosjakomäärityksellä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että tiili ja muurauslaasti voidaan katsoa standardin mukaisiksi. Laastissa vauriokohdan vieressä havaittu pinnan suuntainen säröily on muodostunut ilmeisesti laastin jäädyttyä tuoreena. Laastin jäätyminen tuoreena voidaan katsoa olevan merkittävin syy siihen, että kuultorappausta ja laastin pintakerrosta on paikoitellen irronnut.

Konsolikannatetuilla alueilla vaakasaumoihin asetetut teräkset ovat pitkälle ruostuneet. Tämän voidaan katsoa olevan merkittävin syy konsolikannatetuilla alueilla alimpien tiilirivien korkeudella havaittuihin vaurioihin.

Todettakoon, että materiaaliyhdistelmä (tiili, laasti, kuultorappaus) ei kokonaisuudessaan ole laboratoriossa tehdyn 100 jaksoa käsittäneen jäädytys - sulatuskäsittelyn kaltaisissa olosuhteissa pakkasenkestävä.

Saatujen tietojen mukaan kohteessa on käytetty muuraussementtiä. Ainakin vertailuna toiminut näyte "M 100/600" oli muuraussementtiä, koska se ostettiin erikseen rautakaupasta.

Analyysien perusteella kohteesta otetut näytteet olivat keskenään varsin samankaltaisia, mutta niiden koostumukset poikkesivat kuitenkin jossakin määrin vertailuna toimineesta muuraussementtilaastista. Julkisivuista otettujen laastinäytteiden sideaine/kiviainessuhde oli keskimäärin samaa luokkaa, noin 100/600, kuin vertailunäytteellä M 100/600, mutta julkisivuista otettujen näytteiden sideainefraktio oli koetulosten perusteella sementtipitoisempi kuin vertailunäytteellä M 100/600.

Koetulosten arviointia vaikeutti se, että laastin sementissä on käytetty seosaineena masuunikuonaa, mitä ei ole otettu huomioon laastianalyysin laskenta - arvoissa. Sementin kuonamäärän mahdollinen vaihtelu voi ainakin osittain selittää myös tuloksissa havaittuja eroja.

Analyysitulosten mukaan kohteesta otetut laastinäytteet ovat muurauslaasteja M 100/600 tai sitä koostumukseltaan melko läheisesti muistuttavia, sementtipitoisia KS laasteja. Laasteissa mikroskooppitutkimuksessa havaittu hienojakoinen kalkkikivi viittaa osaltaan siihen, että kyseessä on muurauslaasti M 100/600.

Todettakoon, että *Florentin* - menetelmän analyysituloksesta ei voi välttämättä erottaa, onko kyseessä muurauslaasti tai sitä lähellä oleva sementtipitoinen KS - laasti.

13 ARVIO KORJAUSVAIHTOEHDOISTA

Tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella laasti on niin lujaa, että korjaus voidaan tehdä rakennetta kokonaan uusimatta alueilla, joissa laasti on edelleen kiinni tiilessä. Laastin irtoava pintakerros uusitaan (pakkasvaurioitunut).

Räystäään alapuoliset konsolikannatetut alueet, joissa vaakasaumoihin tiilen ja laastin rajapintaan on muodostunut halkeamia, suositellaan uusittavaksi kokonaan (laastin ja tiilen rajapinnassa ei ole tartuntaa, vaakasaumoissa olevat betoniteräksiset ovat ruostuneet, laasti työntyy paikoin ulos saumoista ja voi pudota alas). Syytä pitkiin vaakasuoriin halkeamiin ei selvitetty. Vaakasaumoissa olevat halkeamat ovat mahdollisesti aiheutuneet konsolikannatettujen alueiden osittaisesta painumisesta.

Espoo 31.10.2012



Pertti Koskinen
Tiiminvetäjä



Kalervo Orantie
Erityisasiantuntija

| | | |
|--------|----------|--------------|
| JAKELU | Tilaaaja | Alkuperäinen |
| | Arkisto | Alkuperäinen |