



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

*Maa- ja pohjarakenteiden laitos. Tutkimusraportti*  
*Institute of Earth and Foundation Structures. Research Report*

Pertti Nieminen

## Helsingin tuomiokirkon kipsikoristeiden elinkaari



Tampere 2007

## TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan osasto

NIEMINEN, PERTTI: Helsingin tuomiokirkon kipsikoristeiden elinkaari

Tutkimusraportti 40 s., liitteet 5 s.

Maa- ja pohjarakenteiden laitos

Rahoittaja: Helsingin seurakuntayhtymä

Lokakuu 2007

Hakusanat: kipsi, huokoisuus, mikrorakenne, vaurioituminen, reliefi, kapiteeli, elinkaari

Tässä tutkimuksessa selvitettiin Helsingin tuomiokirkon kipsikoristeissa esiintyviä erilaisia vaurioita ja niiden aiheuttajia sekä vaurioitumismekanismeja.

Tutkimusraportti muodostuu kahdesta eri osasta, jotka on toteutettu vuosina 2005-2007.

Tutkimuksia suoritettiin ulkona tuomiokirkolla ja laboratoriossa Tampereen teknillisessä yliopistossa. Tuomiokirkolla tutkimuksissa olivat mukana Martti Rissanen Helsingin seurakuntayhtymästä ja Peter Backman Entisöinti Pulla Oy:stä.

Tutkimuksissa keskityttiin erilaisten kipsikoristeiden visuaaliseen tarkastukseen sekä näytteiden ottoon vauriokohdista. Yksityiskohtaisten valokuvien avulla pysytettiin luomaan yleiskuva eri kohteissa esiintyvistä erilaisista vaurioista ja niihin vaikuttavista ympäristötekijöistä.

Laboratoriossa tehtyjen mikrorakennetutkimusten avulla varmistettiin vaurioiden syntymekanismeja sekä luotiin pohjaa tuleville korjaustoimenpiteille. Tavoitteena oli löytää tekijöitä, joiden avulla voidaan pidentää tuomiokirkon kipsikoristeiden elinkaarta. Kirkko sijaitsee alueella, jossa ympäristöolosuhteet luovat rakenteille ja materiaaleille erityisiä kestävyysvaatimuksia. Rasitukset kohdistuvat erityisesti kirkon kaakkois- ja etelän puoleisille seinille. Pohjoisissa olosuhteissa kipsiä on käytetty harvoin ulkotiloissa, koska sen säänkestävyys edellyttää erikoistoimenpiteitä. Useimmat kartoitetut vauriot olivat saaneet alkunsa paikanpäällä toteutetuista korjaustoimenpiteistä. Kipsikappaleiden korjausten onnistuminen ulko-olosuhteissa edellyttää erittäin hyviä sääolosuhteita.

Tutkimusten pohjalta päädyttiin kirkon kipsikoristeiden jatkuvan seurannan menetelmään, jossa vuositarkastusten yhteydessä dokumentoidaan niissä mahdollisesti tapahtuvia muutoksia ja toteutetaan pienet korjaukset välittömästi.

## ESIPUHE

Helsingin tuomiokirkon seinillä olevien erilaisten kipsikoristeiden ylläpito ja kunnostaminen on aiheuttanut huolta useiden vuosien ajan. Seurakuntayhtymä päätti vuonna 2005 selvittää niiden kunnan ja kunnostustarpeen. Allekirjoittanut aloitti kesällä 2005 kipsikoristeiden kuntotarkastukset ja vauriokartoitukset. Vaurioituneista koristeista otettujen näytteiden tutkimuksia jatkettiin Tampereen teknillisen yliopiston maa- ja pohjarakenteiden laitoksen rakennusgeologian laboratoriossa syksyllä 2005. Näiden tutkimusten pohjalta laadittiin ensimmäinen tutkimusraportti.

Kesällä 2006 jatkettiin aikaisempien kokemusten pohjalta ulkoseinillä olevien kipsikoristeiden kuntokartoitusta ja vaurioitumismekanismien seuranta. Syksyllä 2006 ja talvella 2007 testattiin laboratoriossa kipsikoristeiden pinnoituksessa käytettävien erilaisten maalityyppien säänkestävyys. Maalaustyön toteutti Peter Backman Entisöinti Pulla Oy:stä. Kesällä 2007 selvitettiin kirkon seinillä olevien kipsikoristeiden tämänhetkinen kunto nosturina apuna käyttäen. Tutkimusten pohjalta toteutettiin toinen tutkimusraportti.

Tampereella lokakuussa 2007

Pertti Nieminen, dosentti

# Helsingin tuomiokirkon kipsikoristeiden elinkaari

## Sisällysluettelo:

### OSA 1.

JOHDANTO.....	1
TULOKSET.....	2
YHTEENVETO.....	7
JATKOTOIMENPITEET.....	11

### OSA 2.

JOHDANTO.....	2
1. TUTKIMUKSISTA...	
1.1. Huokoisuudesta.....	2
1.2. Pakkasenkestävyydestä.....	2
1.3. Elektronimikroskooppitutkimukset.....	3
2. TULOKSET.....	3
2.1. Yleistä.....	3
2.2. Esimerkkejä Tuomiokirkon kipsirakenteista.....	4
2.2.1 Kipsireliefeissä käytettyjen kipsien mikrorakenteesta.....	4
2.2.2 Eroosio kirkon kellotornin kapiteeleissa.....	6
2.2.3 Impregnoinnin vaikutus kipsin rakenteelle.....	10
2.2.4 Tuomiokirkon pintamaaleista.....	11
2.3. LABORATORIOTESTAUKSET.....	16
2.4. PINTAKÄSITTELYKOKEIDEN TULOKSET.....	17
2.4.1. Vanhojen uudelleenmaalattujen koekappaleiden käyttäytyminen ..	17
2.4.2. Uudet kipsikappaleet.....	17
2.4.3. Pienet kipsikappaleet.....	17
2.5. KIPSIKORISTEIDEN ELINKAARI.....	18
2.5.1. Ympäristötekijät.....	18
2.5.2 Rakenteiden elinkaareen vaikuttavista tekijöistä.....	18
2.5.3. Kirkon kipsikoristeiden elinkaaren pidentäminen.....	19
3. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET.....	20
4. YHTEENVETO TUOMIOKIRKON KIPSIKORISTEIDEN KUNNOSTUS- JA YLLÄPITOTOIMENPITEISTÄ.....	21
4.1. Yleistä.....	21
4.2. Ympäristöstä johtuvat rasitustekijät ja niiden huomioiminen.....	21
4.3. Rasitustekijöiden huomioiminen.....	23
4.4. Kipsikoristeiden korjaustoimenpiteistä.....	23

**TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO**  
Rakennusgeologian laboratorio

**HELSINGIN TUOMIOKIRKON VAURIOITUNEIDEN  
KIPSIRELIEFIEIN SELVITYSTYÖ KESÄLLÄ 2005**

**OSA 1**



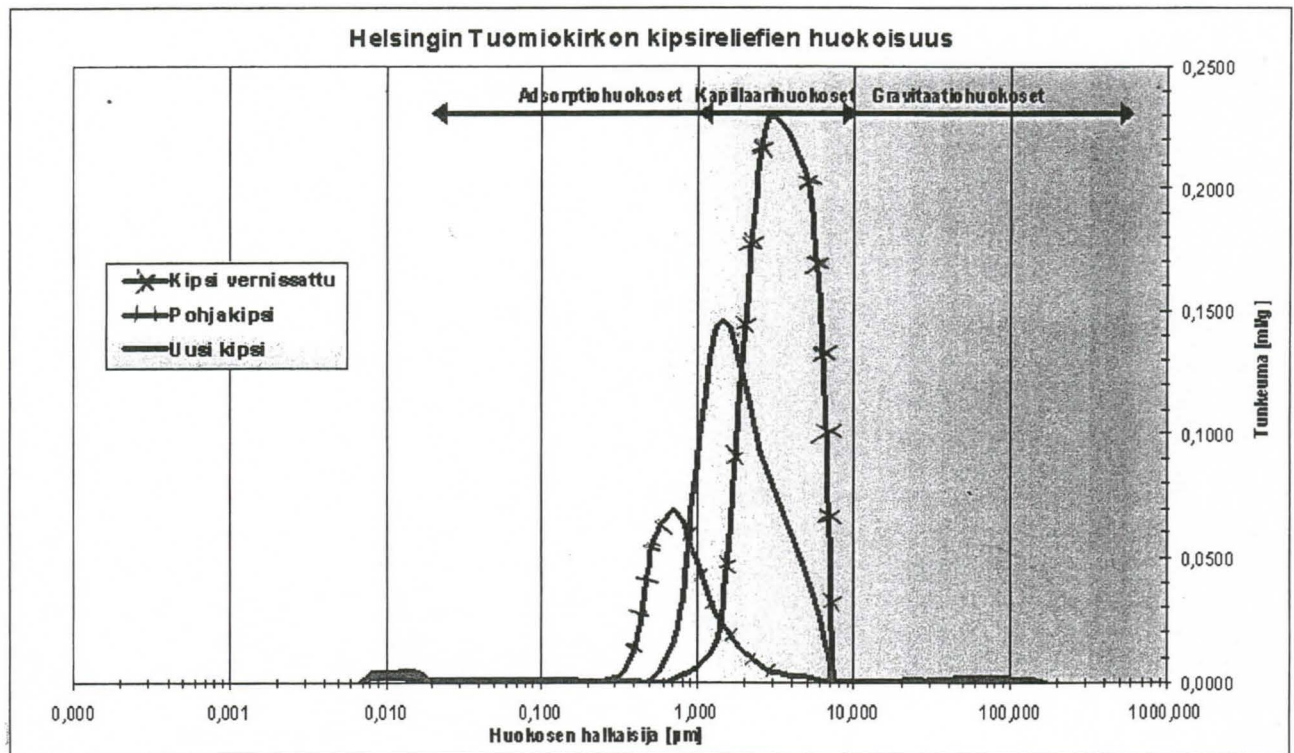
**Tampere 2005**

## JOHDANTO

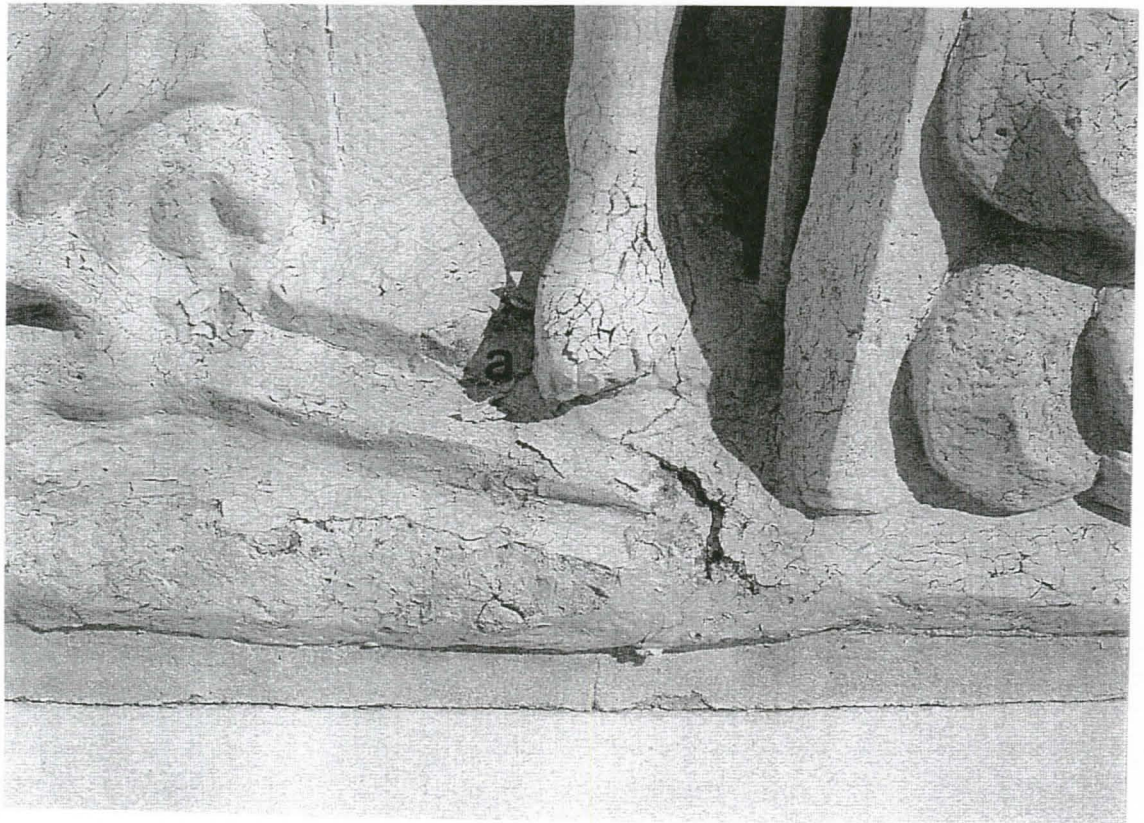
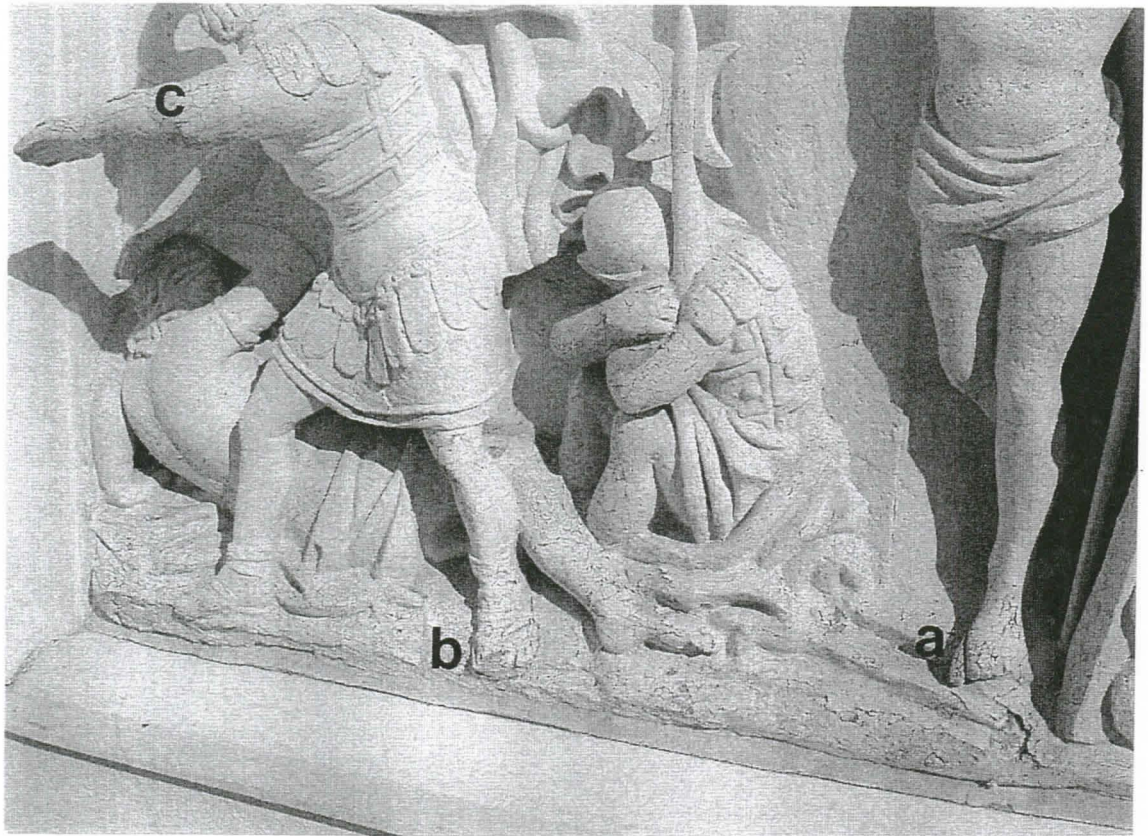
Tässä tutkimuksessa on kartoitettu Helsingin tuomiokirkon vaurioituneiden kipsireliefien rakennetta ja alustavasti niiden vaurioitumiseen johtaneita syitä. Tutkimukset alkoivat näytteiden otolla vaurioituneista kipsikoristeista. Laboratoriossa tutkittiin kiinteiden kipsikappaleiden huokoisuusominaisuudet määrittämällä näytteiden huokoiskokojakautumat elohopeaporosimetrillä. Kipsinäytteiden mikrorakennetta selvitettiin scanningelektronimikroskoopilla. Näiden tutkimusten avulla pyrittiin selvittämään, mitkä eri rakenteelliset tekijät ovat vaikuttaneet kipsireliefien vaurioitumiseen. Eräiden kipsikappaleiden mineraloginen koostumus varmistettiin röntgendiffraktioanalyysin avulla.

## TULOKSET

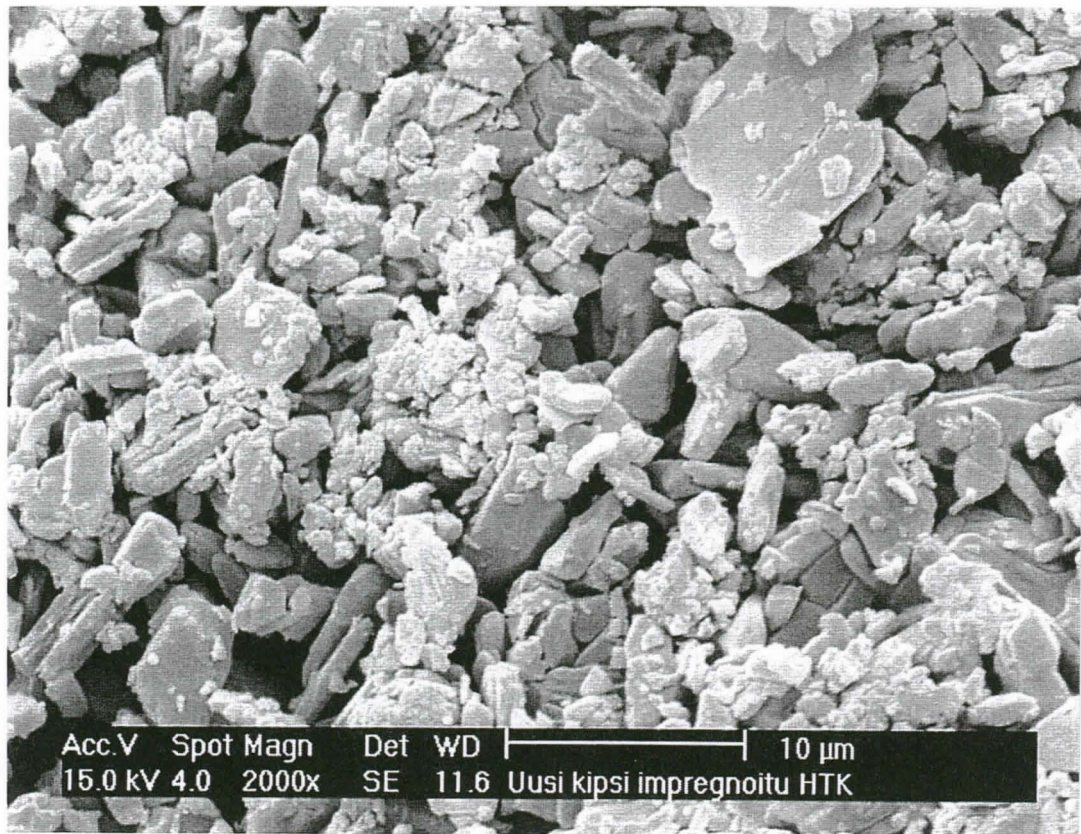
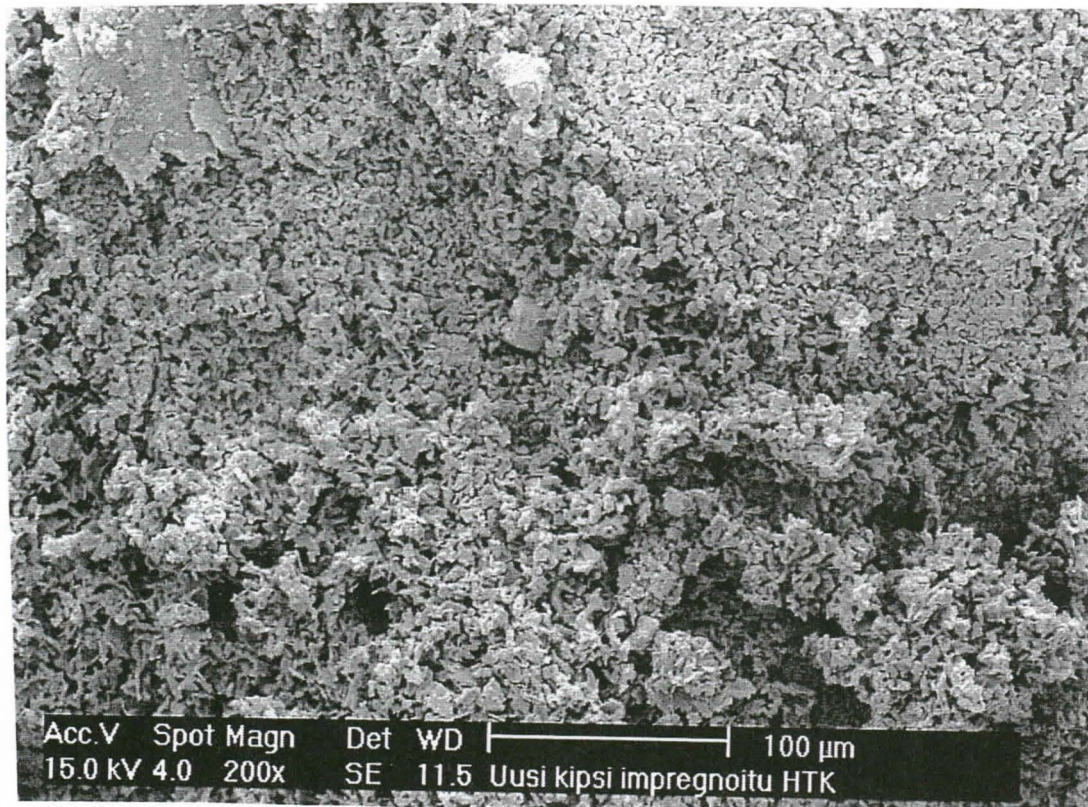
Kuvassa 1. nähdään yleiskuva vaurioituneesta kipsireliefistä. Maalipinnan voimakas halkeilu on ehkä silmiinpistävin yleishavainto, joka lähemmässä tarkastelussa osoittautuu erääksi keskeisimmäksi vaurioiden aiheuttajaksi.



KUVA 2. Kipsireliefin huokosrakennetta.

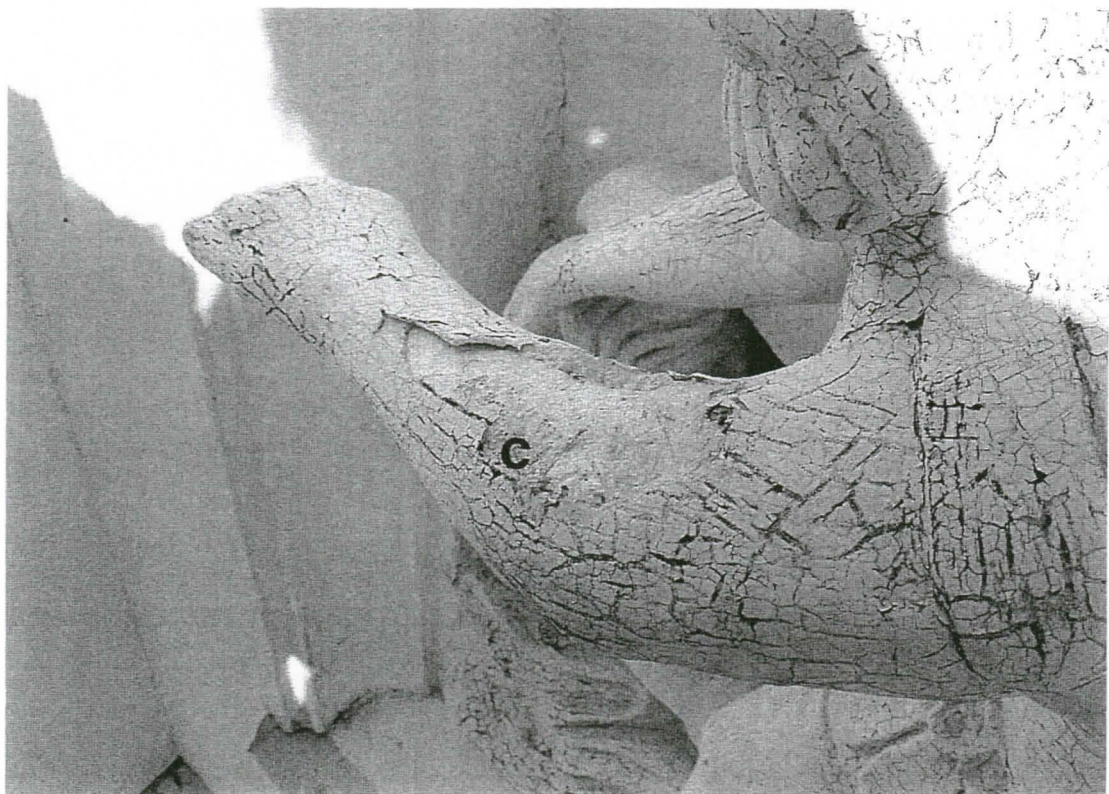
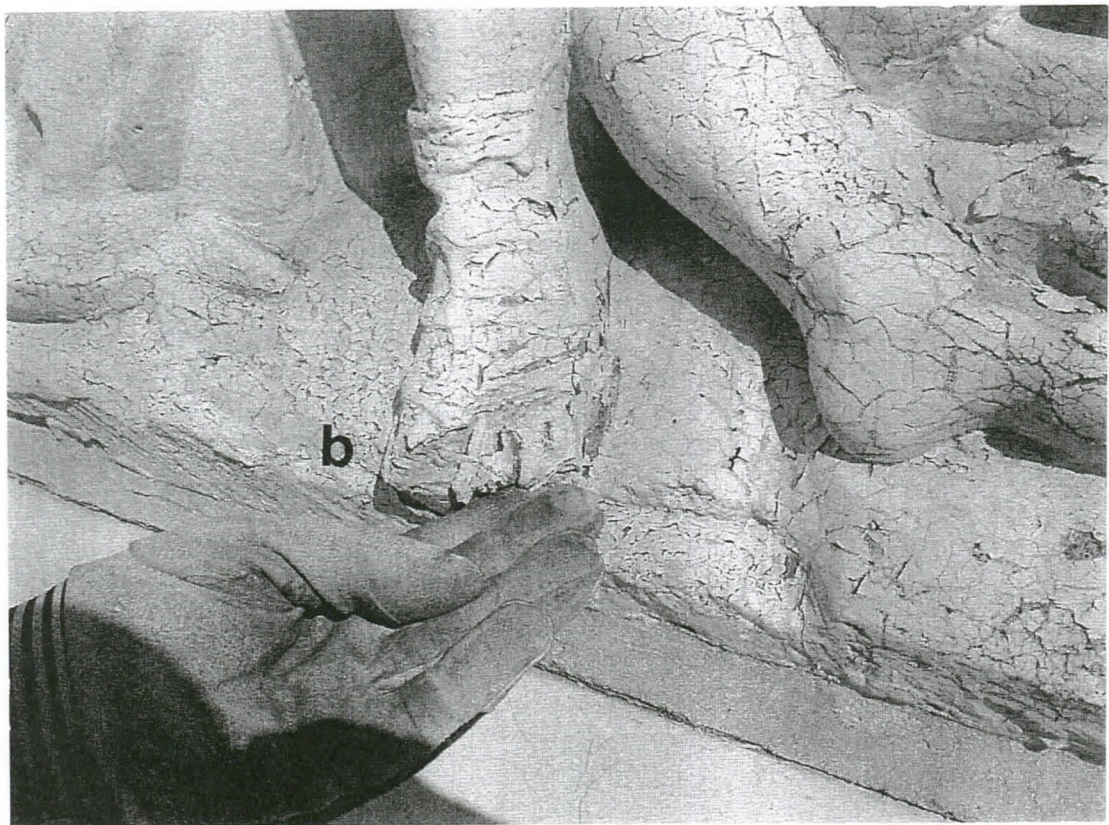


KUVA 1. Helsingin tuomiokirkon vaurioituneita kipsireliefiä.



KUVA 3. Korjauskipsin mikrorakennetta käsivarresta c kuvasta 5. Kuvasta voidaan havaita impregnoidin osittain epäonnistuneen.



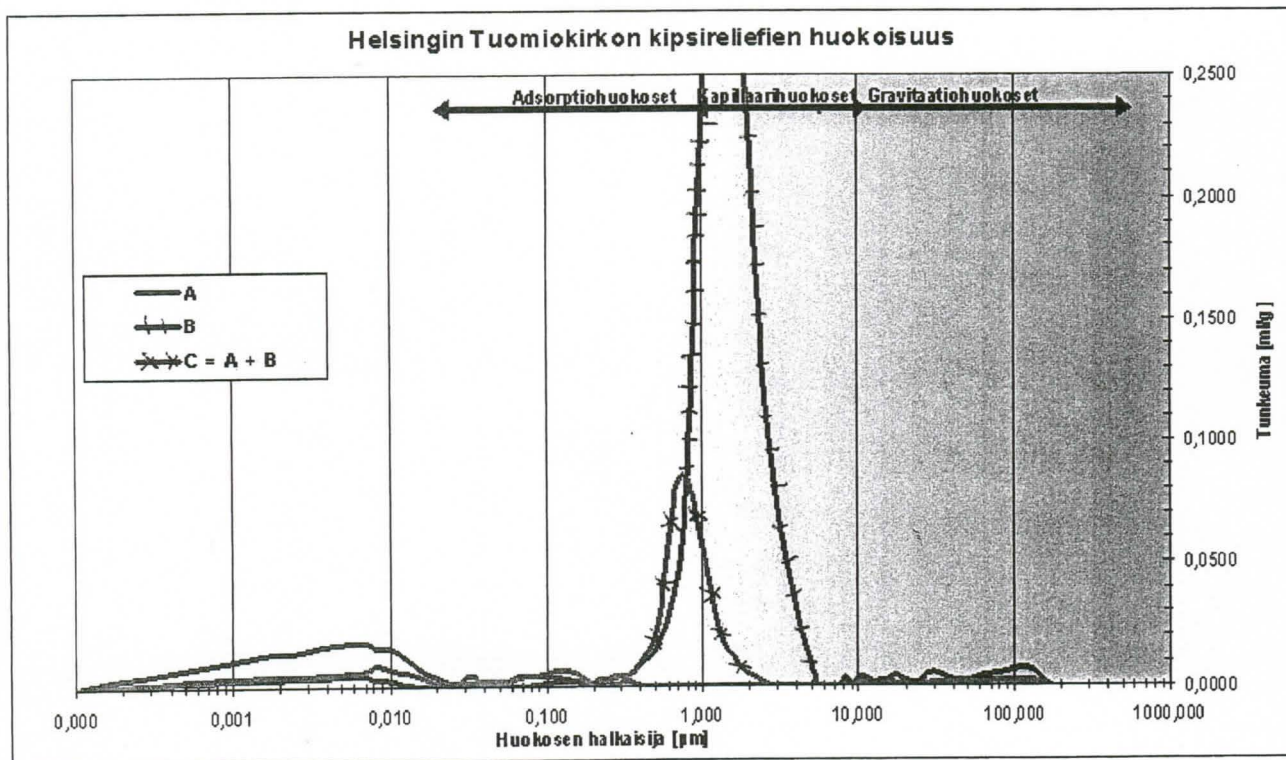


KUVA 4. Yksityiskohtia vaurioituneista kipsireliefeistä. Murtunut jalkaterä b ja vaurioitunut käsivarsi c.

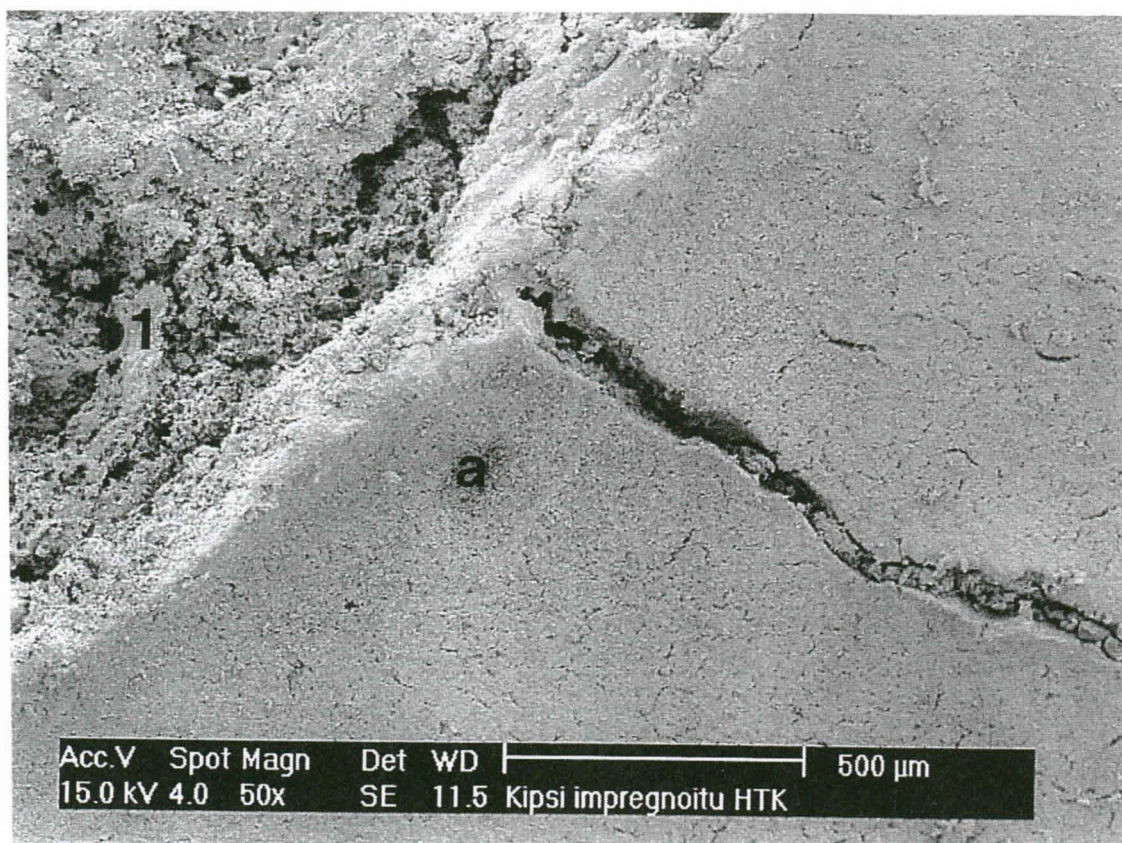
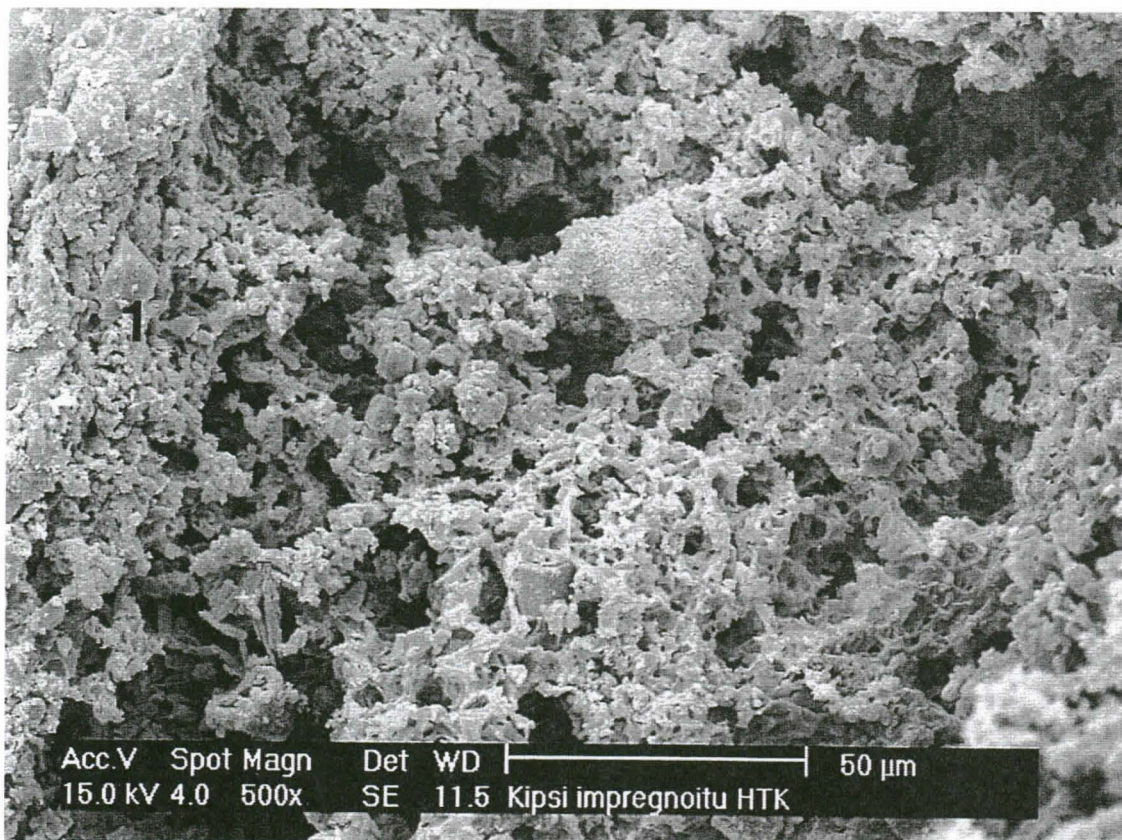
Kuvassa 2. on esitetty vanhan kipsin (pohjakipsi) ja uuden korjauskipsin huokoisuuseroja. Korjauskipsi on yli kaksi kertaa huokoisempaa kuin vanha kipsipohja. Lisäksi pakkaskestävyyden kannalta rakennetta tässä tapauksessa heikentävän kapillaarihuokosten osuus on merkittävästi suurempi kuin vanhan kipsin. Tämä heikentää kipsin kestävyttä siinä olevan veden jäätyessä ja samalla laajentuessa.

Samassa kuvassa 2. nähdään myös vernissatun korjauskipsin huokoskokojakautuma, jossa huomio kiinnittyy erityisen suureen kapillaarialueella (yli 1 mikronia) esiintyvään huokoisuuteen. Tämä tarkoittaa sitä, että ko. kipsi voi sitoa itseensä runsaasti vettä ja vaurioitumisriski kappaleen jäätyessä lisääntyy merkittävästi.. Tämän saman kipsin mikrorakennetta nähdään kuvassa 3. Kuvasta havaitaan selvästi miten vernissakäsittely on epäonnistunut ja rakenne on jäänyt paikoin hyvin huokoiseksi. Näyte on peräisin käsivarresta kuva 4 kohta c. Kuvassa 4. nähdään myös jalkaterän voimakas rapautuminen kohta b.

Kuvassa 5 on esitetty kuvan 1. reliefin varpaan a) maalipinna huokoisuus A. sekä maalipinnan ja kipsin yhteinen huokoisuus C ja vaurioituneen kipsivarpaan huokoisuus B. Maalipinta on tiivis, mutta vernissakäsittely ei ole tiivistänyt itse kipsirakennetta, jossa on erittäin suuri kapillaaristen huokosten osuus ja näin ollen se on ollut hyvin altis pakkasvaurioille.



KUVA 5. Vaurioituneen kipsivarpaan huokoisuusominaisuusominaisuudet



KUVA 6. Kuvan 1. vaurioituneen kipsivarpaan mikrorakenetta a pintamaali, 1. huokoista kipsirakenetta.

Kuvassa 6. on esitetty vaurioituneen kipsivarpaan ( kuva 1 ) maalattu pinta a , jossa on halkeama ja suurennettuna varpaan sisärakennetta 1., jonka huokoisuutta kuvaava käyrä A on esitetty kuvassa 5. Johtopäätöksenä on, että rakenteen vaurioituminen on alkanut veden tunkeutuessa maalissa olevan halkeaman kautta kipsirakenteeseen, joka sisältää pääasiassa ns. kapillaari-vesihuokosia, koska vernissa impregnointi oli epäonnistunut. Pakkas-sulatus-syklit rapauttavat nopeasti tällaisen rakenteen. Vesi jäätyessään laajenee 9 % ja tällainen rakenne pystyy varastoimaan itseensä merkittävästi vettä.

Kuvassa 7. on esitetty maalipinnan rakennetta, jossa on nähtävissä halkeamia jotka edesauttavat veden tunkeutumista alla olevaan kipsirakenteeseen. Suurennuksesta kohta c havaitaan, että maalipinnassakin esiintyy mikrohuokoisuutta, joka edesauttaa kosteuden siirtymistä.

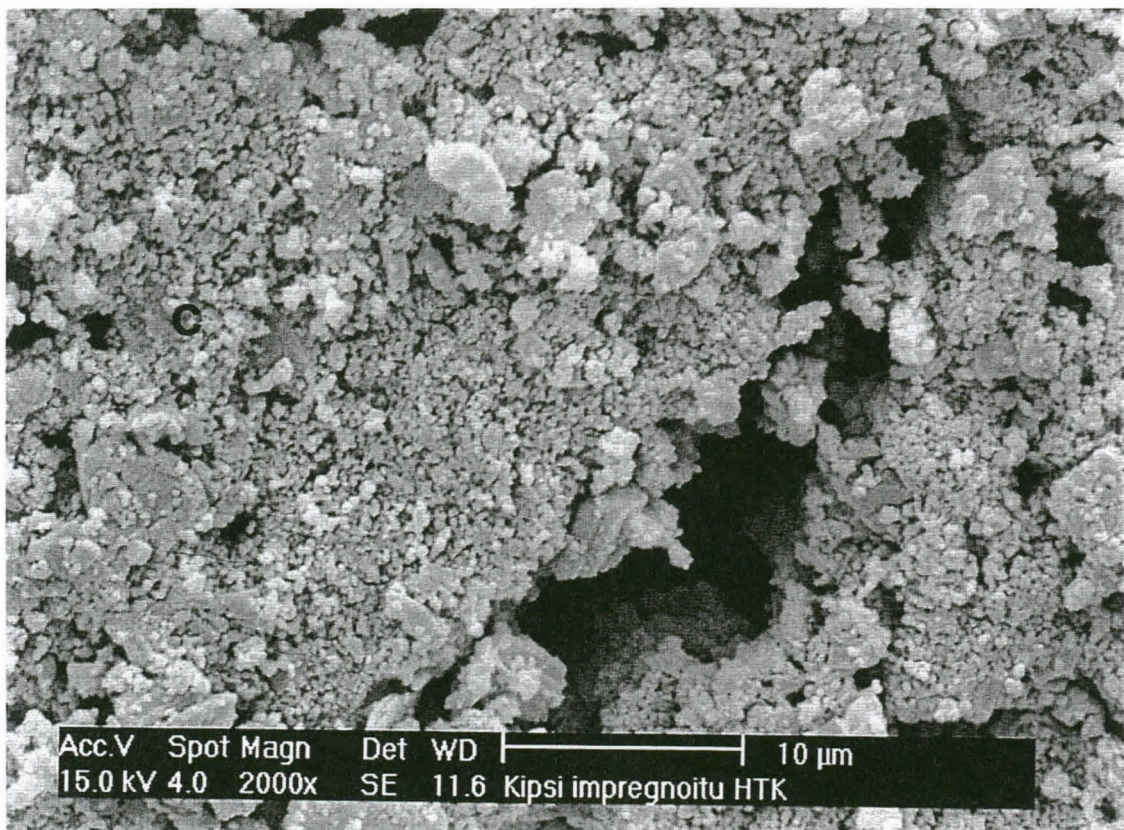
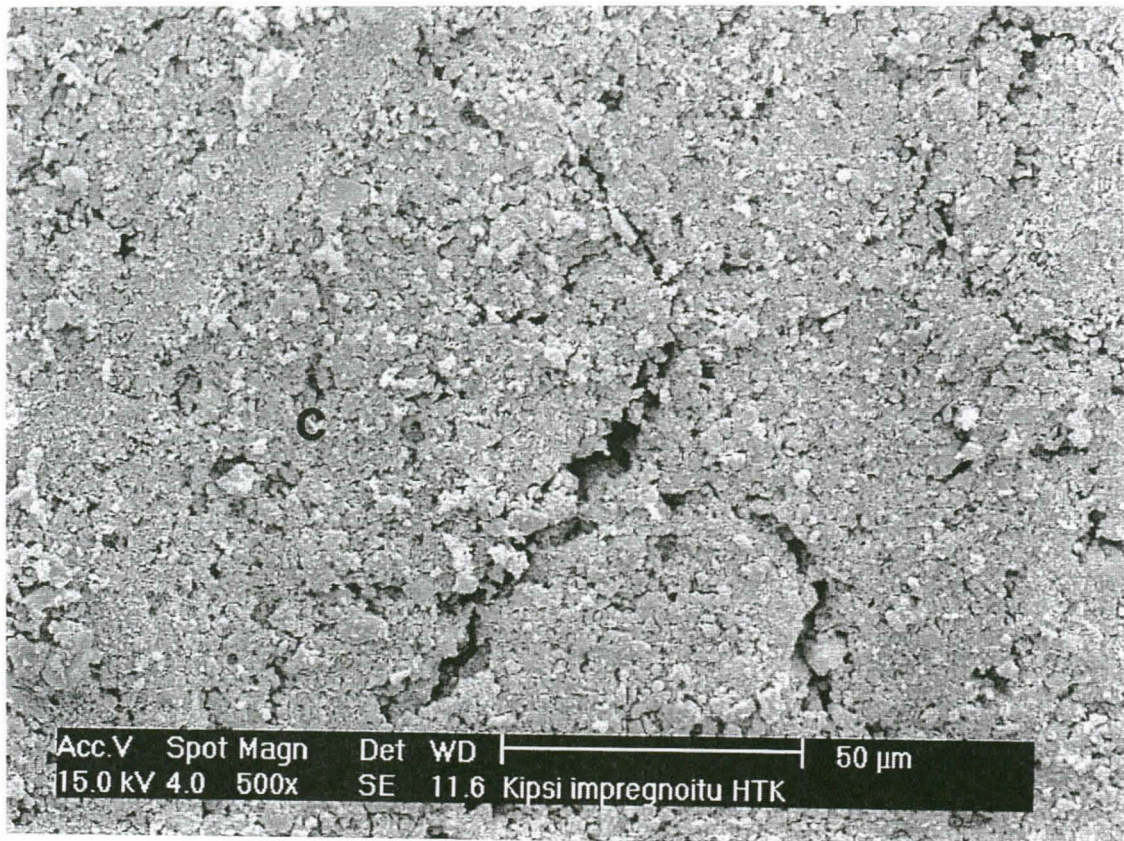
Kuvassa 8. nähdään vanhan hyvin impregnoitun kipsin rakennetta, jossa huomio kiinnittyy kipsin erilaiseen kidemuotoon ja tiiviiseen rakenteeseen.

Rakenteiden korjauksen yhteydessä muodostuvat rajapinnat pohjakipsin ja korjauskipsin välille ovat keskeisessä asemassa muodostuvan rakenteen pysyvyyden ja kestävyyyden kannalta. Suuret rakenteiden väliset huokoisuus-erot aiheuttavat jännitystiloja, jotka purkautuvat ja ilmenevät vaurioina. Kuvassa 9 nähdään, miten rajapinta on kipsireliefin korjauksessa syntynyt. Vanhan kipsin (vk) ja uuden kipsin (uk) mikrorakenteessa huomio kiinnittyy erilaiseen kipsin kiderakenteeseen, joka taas vaikuttaa rakenteen huokosominaisuuksiin. Tällaisissa tapauksissa impregnoinnin onnistumisella on erittäin suuri merkitys huokoisuuserojen tasaajana ja siten keskeinen asema kipsimateriaalin kestävyyyden kannalta.

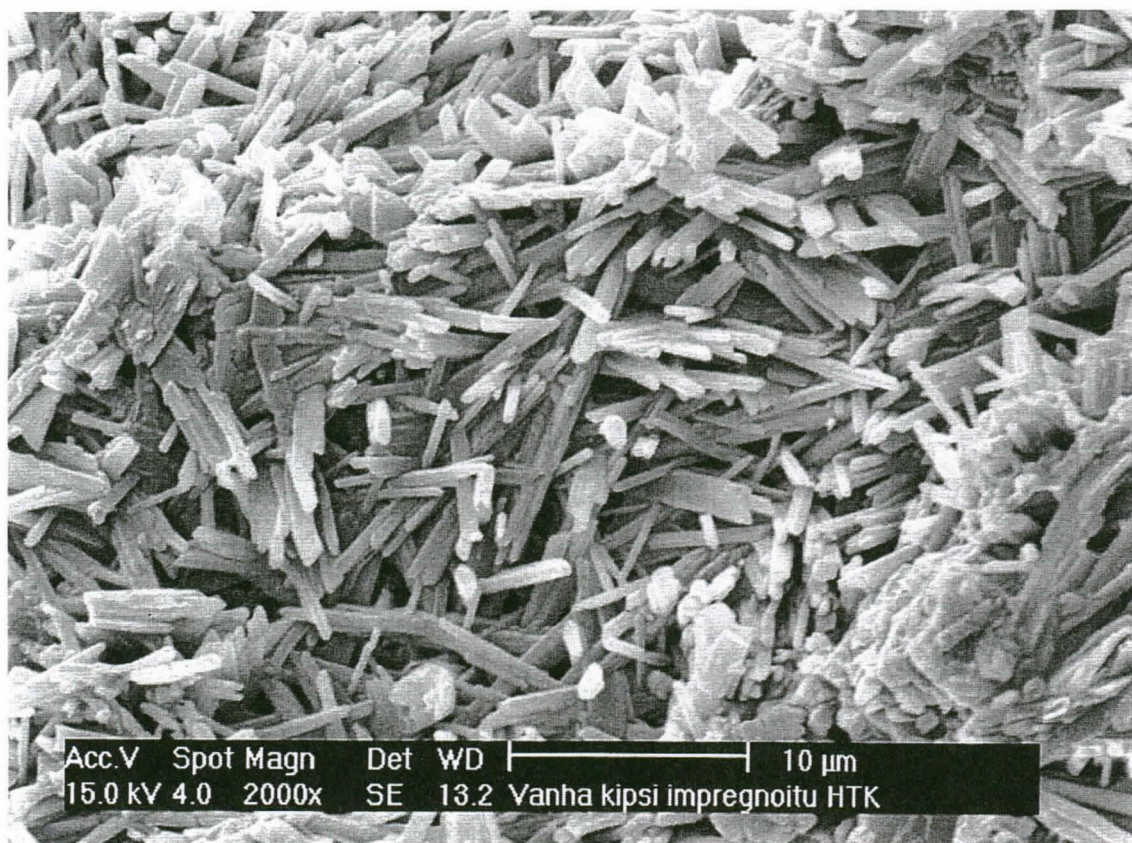
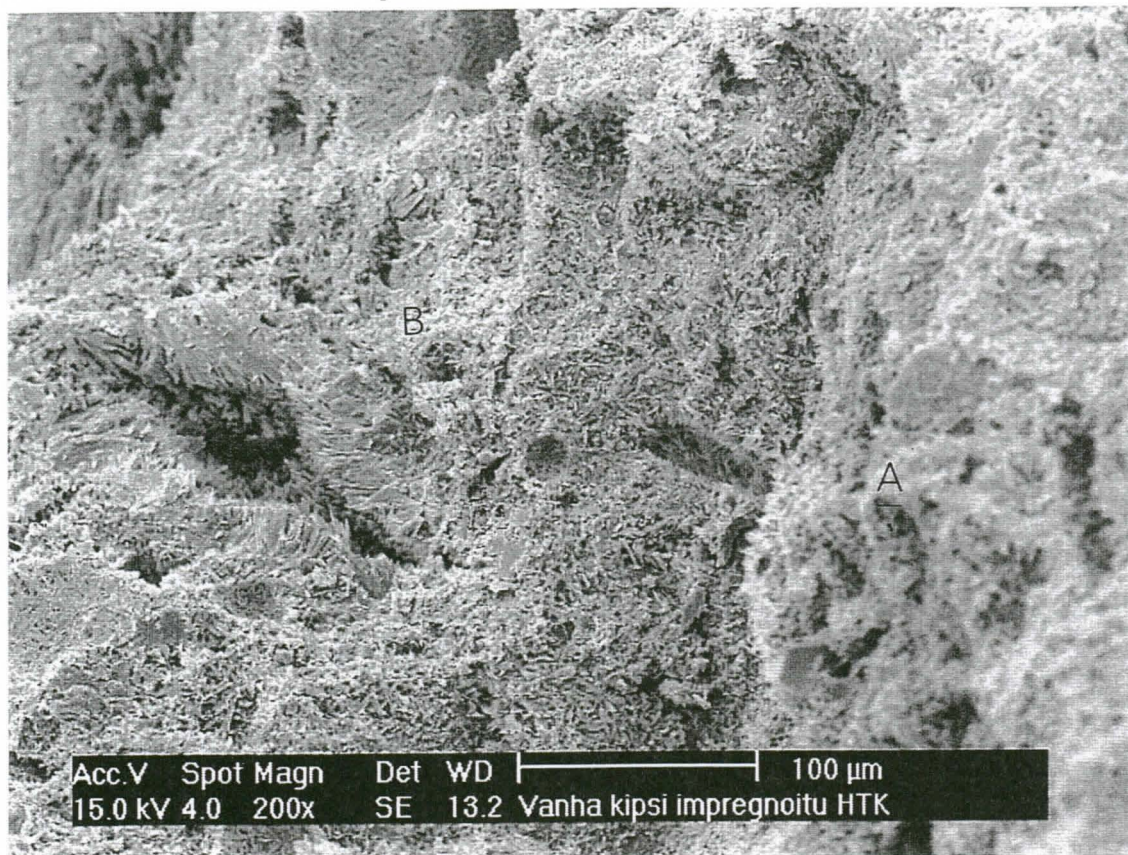
## YHTEENVETO

Tehdyissä alustavissa tutkimuksissa tuli selvästi esille impregnoinnin merkitys kipsin säänkestävyyden kannalta. Tähän on löydettävissä selkeä selitys, jos materiaalin huokosrakenne on tasalaatuinen ja riittävän tiivis veden vaikutusta vastaan ei pakkasvaurioita pääse muodostumaan.

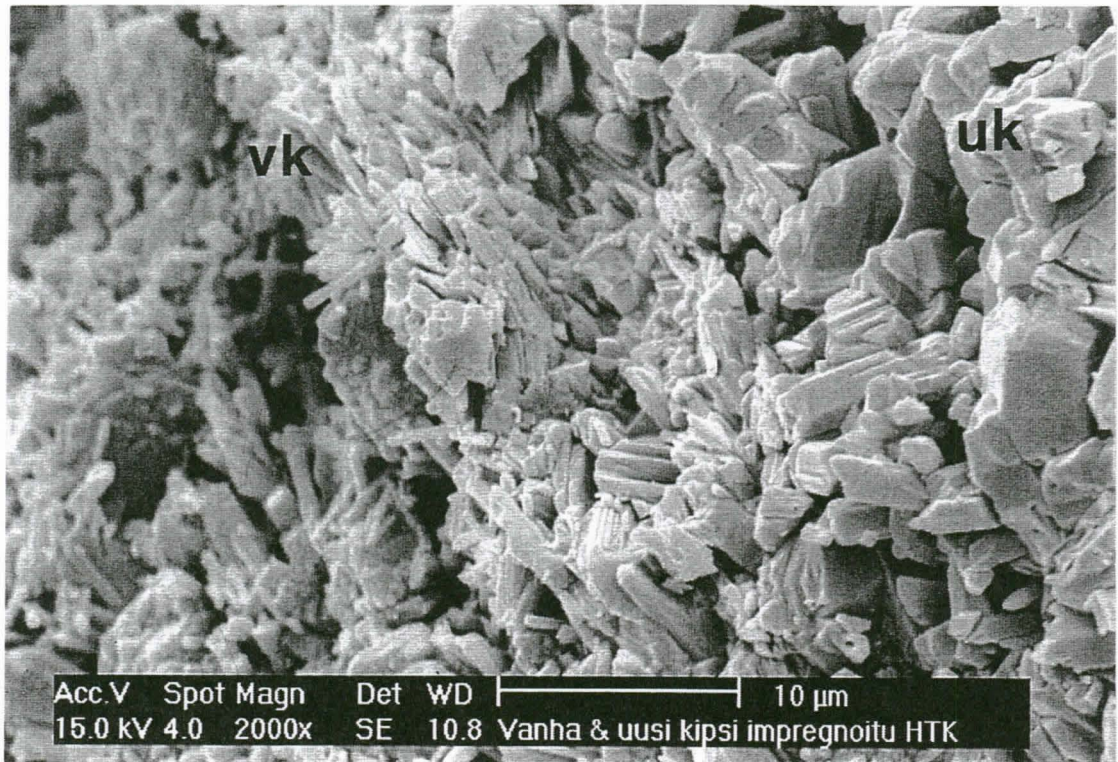
Kuvassa 10. on esitetty laboratoriossa toteutettu koe , jossa verrattiin vernissalla käsitellyn ja käsittelemättömän kipsin huokoisuuseroja. Kuten kuvasta havaita vernissakäsittely pienentää huokoisuutta merkittävästi. Käsiteltäessä kipsiä vernissalla tulisi kiinnittää erityistä huomiota vernissan viskositeettiin ja vernissan imeytymiseen kipsirakenteen sisään.



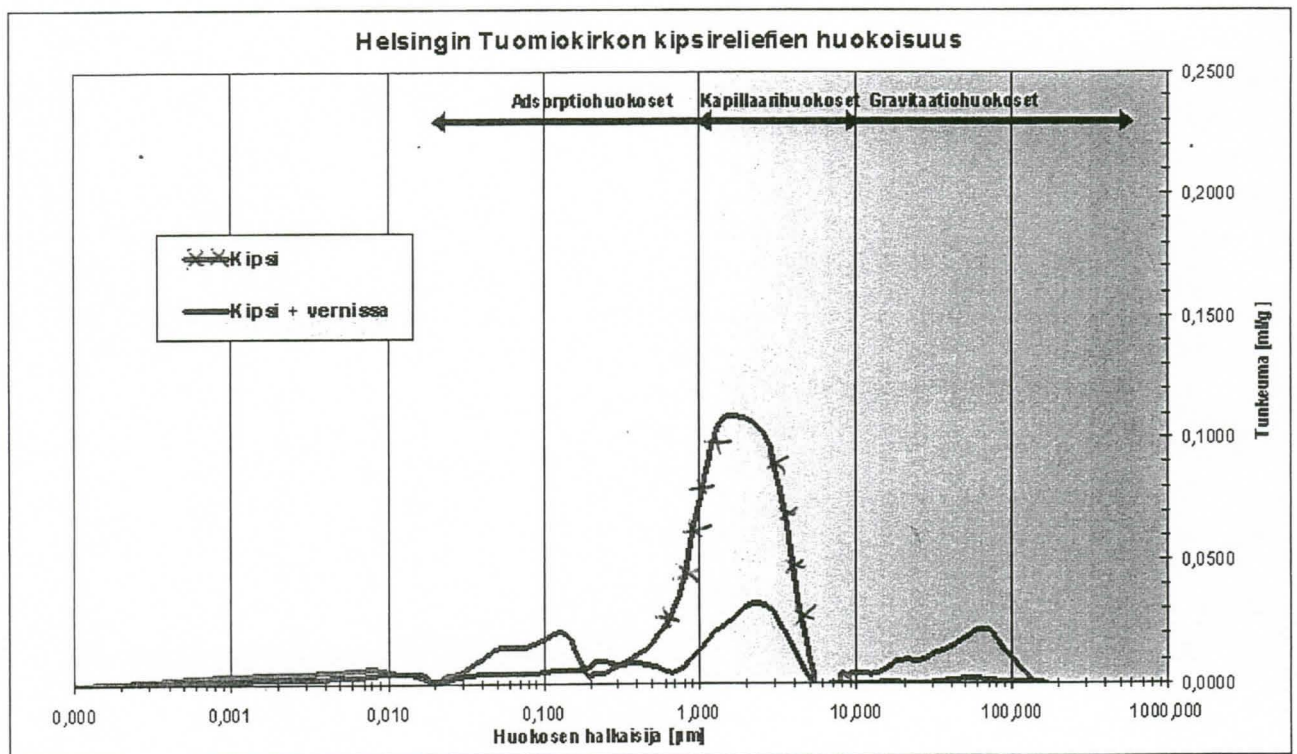
KUVA 7. Maalatun kipsipinnan pintarakennetta.



KUVA 8. Vanhan impregnoitun kipsin mikrorakennetta.



KUVA 9. Vanhan kipsirakenteen (vk) ja uuden kipsirakenteen (uk) raja.



KUVA 10. Laboratoriossa valmistetun käsittelemättömän ja vernissalla käsitellyn kipsin huokosrakenne

## JATKOTOIMENPITEET

Kesällä 2005 tehtyjen alustavan kipsireliefien kuntotarkastuksen ja laboratoriossa suoritettujen tarkempien tutkimusten perusteella kesällä 2006 tulisi aloittaa kaikkien kipsirakenteiden kuntoarviointi, jotta voitaisiin luoda pitempiaikainen korjaussuunnitelma ja aikataulu niiden toteuttamiseksi. Kiireellisyysjärjestys korjauksissa muodostuisi tämän arvioinnin perusteella. Tuomiokirkon eteläpuolen kipsireliefien heikko kunto edellyttää toimenpiteitä jo kesällä 2006.

Talven 2006 aikana tulisi laboratoriossa valmistella kesän kipsitöitä selvittämällä käytettävät kipsit ja niiden ominaisuudet. Selvitettäviin asioihin kuuluu myös tutkia miten ja millä käsitellään valmistetut kipsituotteet. Tähän liittyy kipsien impregnointi ja pinnoittaminen ( maalaus ).

Tampereella 16. 12. 2005

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Rakennusgeologian laboratorio

Pertti Nieminen  
dosentti

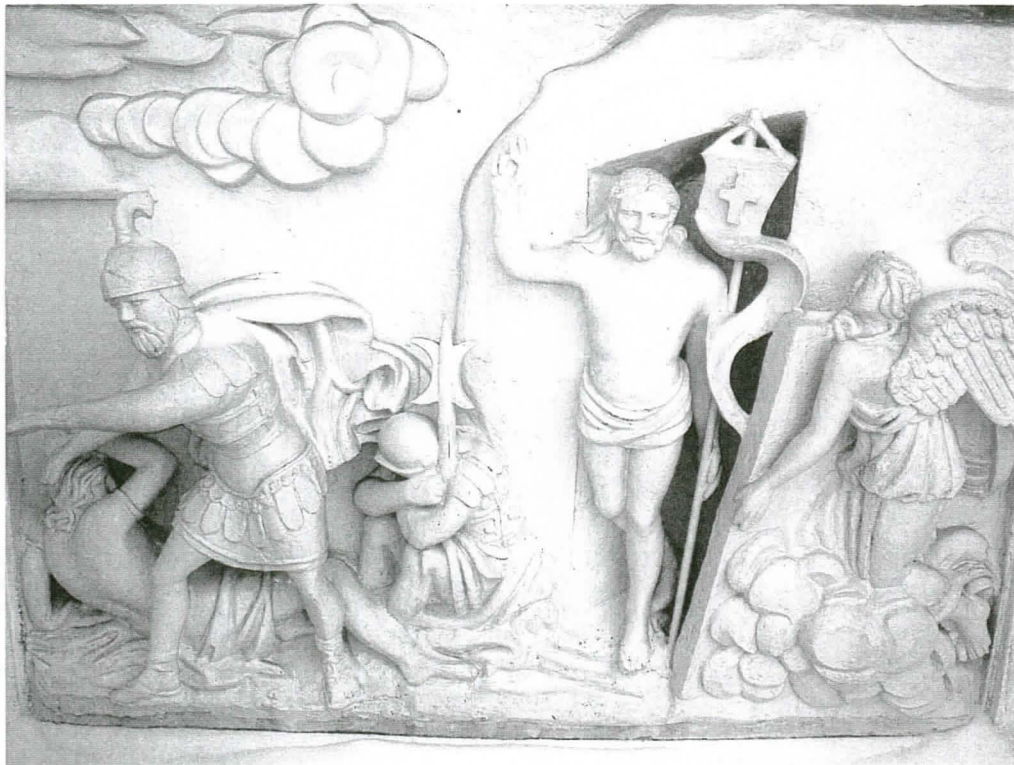


TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Maa- ja pohjarakenteiden laitos

Pertti Nieminen

# HELSINGIN TUOMIOKIRKON VAURIOITUNEIDEN KIPSIRAKENTEIDEN SELVITYSTYÖ VUONNA 2007

OSA 2



Tampere 2007

## **JOHDANTO**

Tämän projektin tutkimukset on tehty useassa eri osassa vuosina 2005-2007. Ensimmäisissä tutkimuksissa kesällä 2005 selvitettiin kipsirelieffien kuntoa ja otettiin näytteitä syksyn 2005 ja talven 2006 laboratoriotutkimuksia varten. Kesällä 2006 jatkettiin näytteidenottoa ja laboratoriossa selvitettiin jäädytys-sulatuskokeiden avulla eri maalien soveltuvuutta kipsikoristeiden pinnoittamisessa. Kokeet päättyivät talvella 2007.

Tutkimuksissa kartoitettiin Helsingin tuomiokirkon vaurioituneiden kipsirelieffien rakennetta ja pyrittiin selvittämään niiden vaurioitumiseen johtaneita syitä. Tavoitteena oli luoda tehtyjen tutkimusten pohjalta kipsirelieffien kunnan seuranta-järjestelmä.

### **1. TUTKIMUKSISTA**

Tutkimukset alkoivat näytteidenotolla vaurioituneista kipsirelieffeistä. Laboratoriossa tutkittiin kiinteiden kipsikappaleiden huokoisuusominaisuudet määrittämällä näytteiden huokoskokojakaumat elohopeaporosimetrillä. Kipsinäytteiden mikrorakennetta selvitettiin scanningelektronimikroskoopilla. Näiden tutkimusten avulla pyrittiin selvittämään, mitkä eri rakenteelliset tekijät ovat vaikuttaneet kipsirelieffien vaurioitumiseen. Eräiden kipsikappaleiden mineraloginen koostumus varmistettiin röntgendiffraktioanalyysin avulla.

#### **1.1. Huokoisuudesta**

Huokoisuus vaikuttaa merkittävästi kiinteiden kappaleiden ominaisuuksiin. Veden käyttäytymisessä juuri huokoisuudella on keskeinen asema. Vesi esiintyy huokoisessa materiaalissa luonteeltaan kolmessa eri muodossa. Isoissa huokosissa, joiden halkaisija on yli 10 mikronia, veden liikkumista säätelevät gravitaatiovoimat. Alle 10 mikronin huokosissa vesi liikkuu kapillaarivoimien vaikutuksen alaisena.

Kaikkien huokosten seinämällä on 0,2 mikronin vahvuinen ns. adsorptiovesivaippa, joka muodostuu 100 %:n suhteellisessa kosteudessa. Tämä vesi on erittäin tiukasti sitoutuneena huokosten seinämiin. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että adsorptiovoimat vaikuttavat vielä 0,5 mikronin vahvuudessa vesivaipassa. Tästä on seurauksena, että halkaisijaltaan 1 mikronin huokonen on adsorptioveden täyttämä. Adsorptiovedelle on luonteenomaista mm. 0° C alapuolella tapahtuva veden jäätyminen. Pakkaskestävyyden kannalta juuri alle 1 mikronin huokosilla on erittäin tärkeä rooli.

#### **1.2. Pakkaskestävyydestä**

Materiaalien pakkaskestävyyttä selvitettiin laboratoriossa ns. jäädytys-sulatuskokeiden avulla. Tässä tutkimuksessa eri maaleilla pintakäsiteltyjen kipsikappaleiden pakkaskestävyyttä testattiin sykleillä, joissa lämpötila vaihteli +20°C ja -10°C välillä. Rasituskierrosten lukumäärä oli testauksen ensimmäisessä vaiheessa 75 sykliä ja toisessa vaiheessa 90 sykliä.

### 1.3. Elektronimikroskooppitutkimukset

Tuomiokirkosta otettujen kipsinäytteiden vaurioitumisen tai hyvän kestävyysden selvittämisessä visuaalinen mikroskooppitarkastelu on ollut keskeisessä asemassa. Yhdistelemällä eri tutkimusmenetelmillä saatuja tietoja on voitu selvittää kipsirelieffien vaurioitumismekanismeja.

## 2. TULOKSET

### 2.1. Yleistä

Kesällä 2005 tehdyissä vaurioituneiden kipsirelieffien kartoituksessa havaittiin reliefien pintamaalien voimakas verkkomainen halkeilu ja sen aiheuttamat seuraukset maalin alla olevalle kipsille. Kuvassa 1 nähdään miten vauriomekanismi etenee kapiteelissa, jossa maalipinta on verkkomaisesti halkeillut. Kuvassa 1 nähdään suojaisessa yläosassa vaurioitumisprosessin ensimmäinen vaihe eli verkkomainen maalin halkeilu. Kapiteeliin, joka on suoraan säärasituksille alttiina (mereltä puhaltava tuuli, sade, aurinko ja voimakkaat lämpötilavaihtelut) on aiheutunut voimakas eroosioilmiö kipsissä. Laboratoriokokeissa havaittiin, että kipsi kestää huokosrakenteensa puolesta säärasitusta, mutta ei pistemäistä rakoysteemiin kohdistuvaa säärasitusta.



*Kuva 1. Tuomiokirkon eteläosassa oleva vaurioitunut kapiteeli*

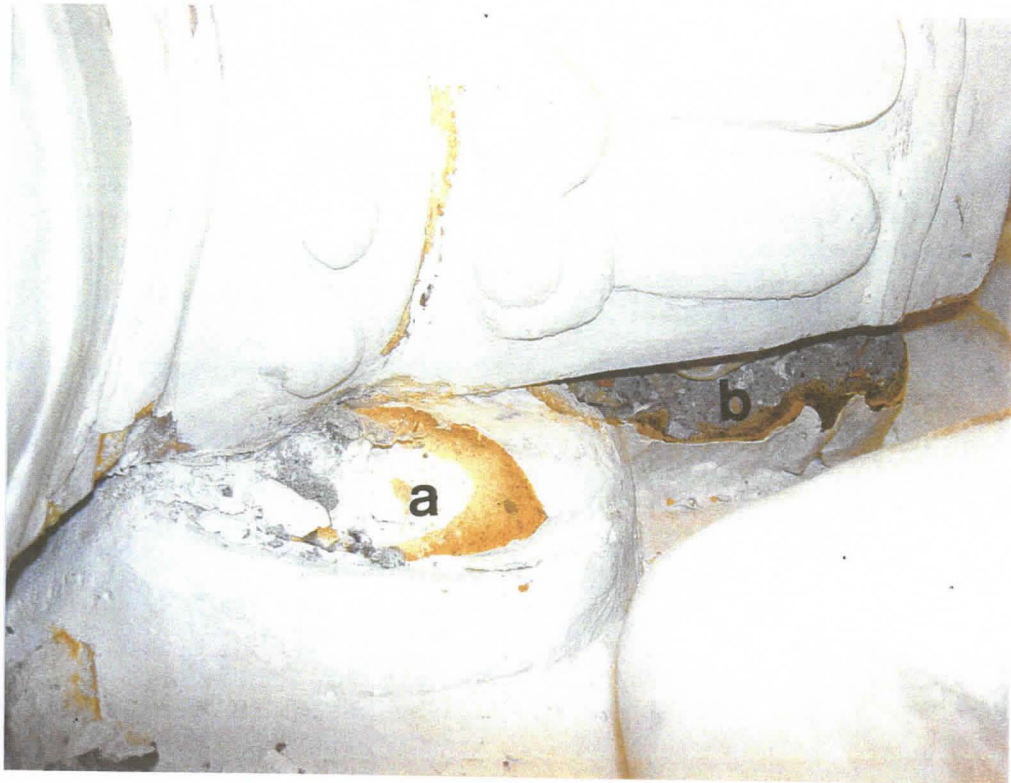
## 2.2. Esimerkkejä Tuomiokirkon kipsirakenteista

### 2.2.1. Kipsireliefeissä käytettyjen kipsien mikrorakenteesta

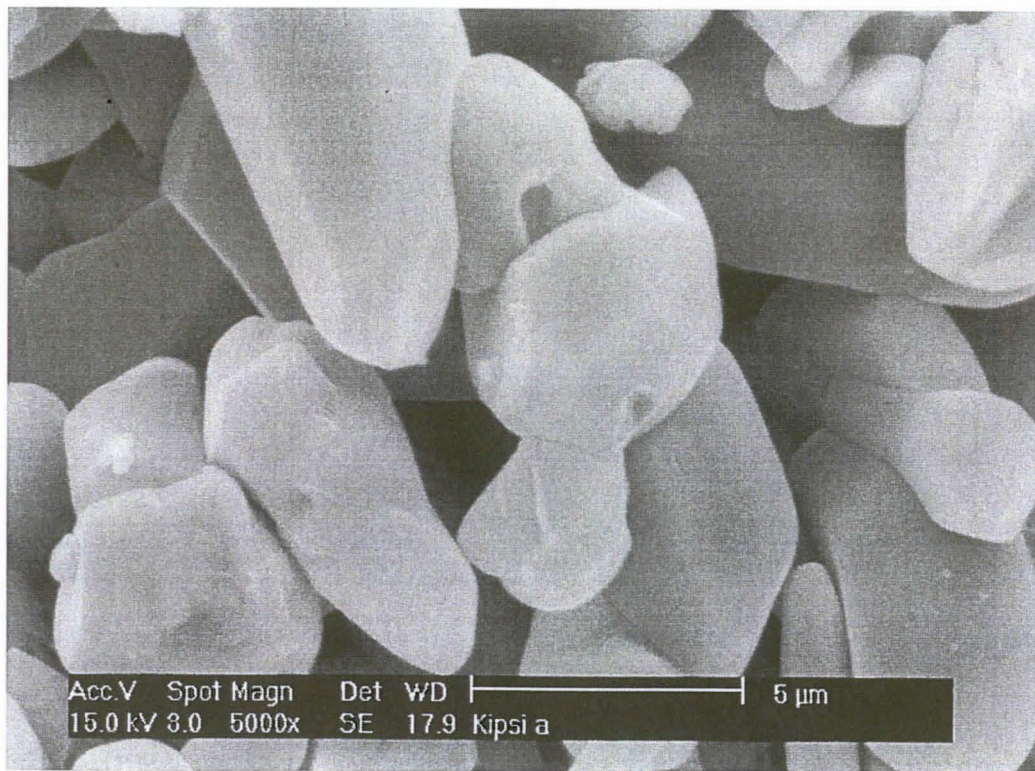
Kuvissa 2 ja 3 nähtävässä reliefissä on käytetty kahta erilaista kipsiä eli valkoista hyvin impregnoitua korjauskipsiä (a) ja harmaata kipsiä (b), joka on ainakin osittain valkoisen kipsin alla. Verrattaessa kuvia 4 ja 5, havaitaan valkoisen kipsin (a) olevan kiderakenteeltaan isompaa kuin harmaa kipsi (b). Valettujen kipsien huokosrakenteessa havaittiin pieniä eroja, mutta ne eivät olleet merkittäviä.



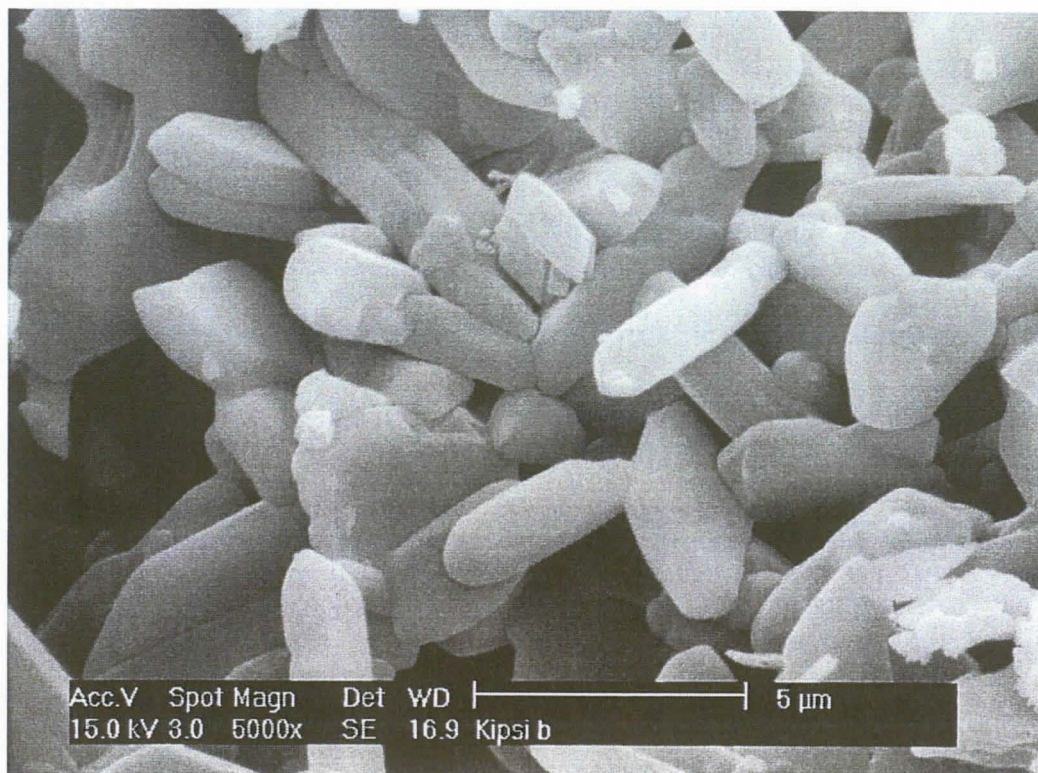
*Kuva 2. Kipsireliefi, josta on lohjennut palanen*



*Kuva 3. Yksityiskohta reliefistä lohjenneesta kipsikappaleesta. Kuvassa valkoisen kipsin (a) impregnointi näkyy kellertävänä alueena.*



*Kuva 4. Valkoisen kipsin (a) kiderakennetta*



*Kuva 5. Harmaan kipsin kiderakennetta*

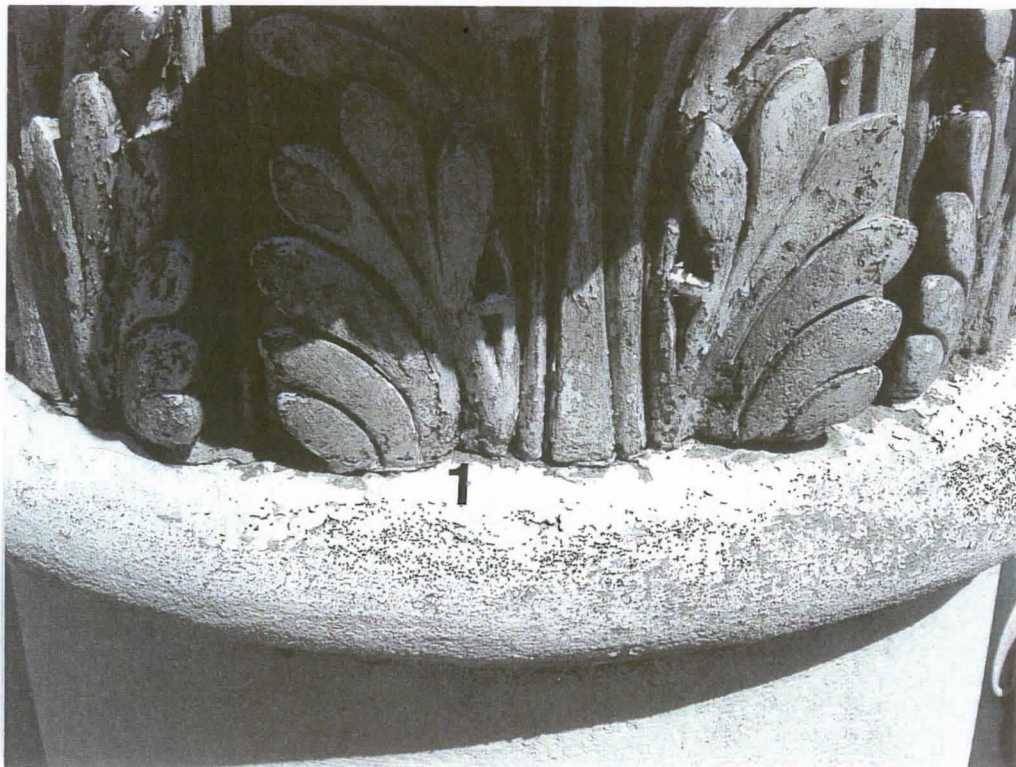
### **2.2.2. Eroosio kirkon kellotornin kapiteeleissa**



*Kuva 6. Tuomiokirkon kellotorni*



*Kuva 7. Kellotornin vaurioituneen kipsikapiteelin kärkiosa*



*Kuva 8. Vaurioituneen kapiteelin alaosa, jossa esiintyy pakkasvaurioita (1)*

Kuvissa 6, 7 ja 8 nähdään, miten eroosio vaurioittaa kipsirakenteita sen jälkeen, kun vesi pääsee tunkeutumaan kipsirakenteeseen halkeilleen maalipinnan kautta. Kipsin pinta syöpyy, jolloin sen huokosrakenne muuttuu niin, että adsorptiohuokosten osuus kasvaa. Tästä on seurauksena pakkasvaurioriskin merkittävä lisääntyminen, koska kohonneen adsorptiovesimäärän johdosta rakenteen kuivuminen on hidastunut merkittävästi.

	Ehjä kipsi (A)		Vaurioitunut kipsi (B)		Vaurioitunut tiili	
	V (ml/g)	A (m <sup>2</sup> /g)	V (ml/g)	A (m <sup>2</sup> /g)	V (ml/g)	A (m <sup>2</sup> /g)
Gravitaatiohuokoisuus	0,005	0,001	0,016	0,002	0,0095	0,001
Kapillaarihuokoisuus	0,500	0,850	0,035	0,170	0,0156	0,060
Adsorptiohuokoisuus	0,030	2,450	0,250	4,185	0,1080	2,790

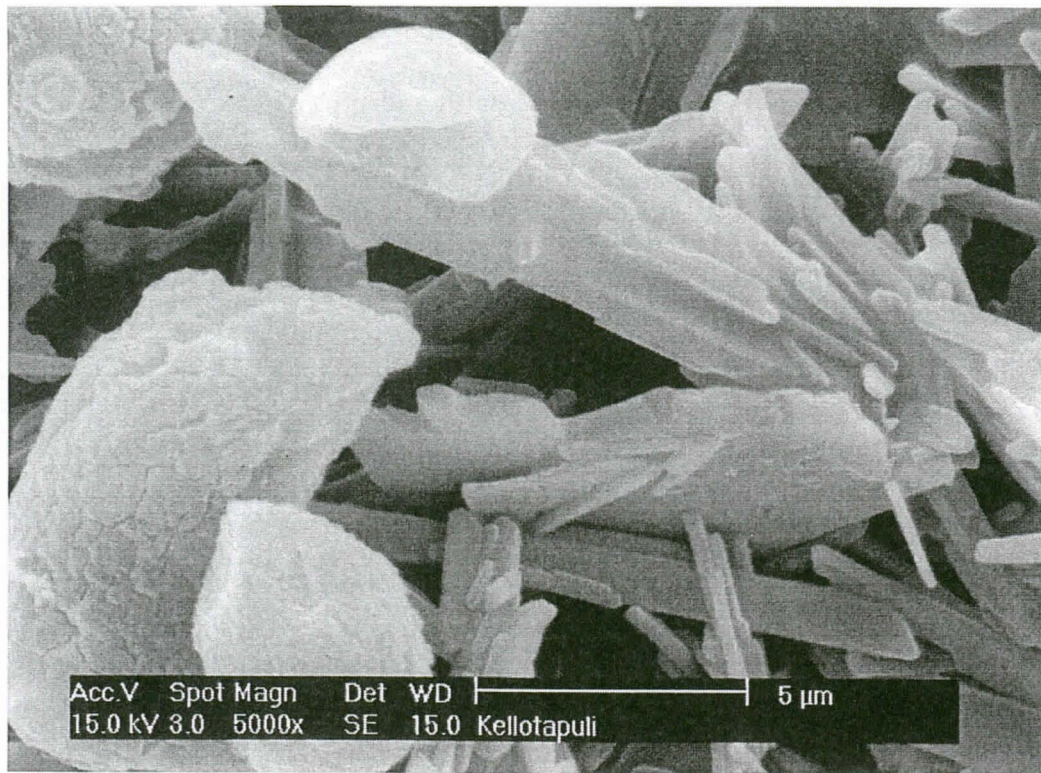
*Taulukko 1. Huokoskokojakaumat*

Taulukossa 1 on esitetty esimerkkinä säänkestävän (A) ja vaurioituneen (B) kipsikappaleen ja poltetun pakkasvauriotiilen huokoskokojakaumat. Esimerkistä havaitaan säänkestävyyteen vaikuttavien kapillaari- ja adsorptiovesihuokosten samankaltaisuus. Tiili ja kipsikappaleet, joissa esiintyy merkittävästi alle 1 mikronin huokoisuutta, eivät kestä pakkas-sulatusrasitusta. Kuten myöhemmin laboratoriotutkimusten osassa tulee esille, valetut kipsikappaleet kestävät huokosrakenteesta johtuen pakkas-sulatusrasitukset, mutta rakenteen eroosion kestävyys on suhteellisen huono heikon lujuuden seurauksena.

Pääosa vaurioituneen kipsin huokostilavuudesta on adsorptiohuokosten alueella. Verrattaessa vaurioituneen kellotornin kipsin (kuva 9) mikrorakennetta reliefin kestäviin kipseihin (kuvat 5 ja 6) havaitaan selvä rakenteellinen ero. Kellotornin kipsi on eroosiosta johtuen selvästi huokoisempaa. Kuvassa 9 olevan mittajanan avulla voidaan hahmottaa kipsin mikrohuokoisuutta, jota huokoisuustutkimukset myös osoittavat ja käytännön vauriot vahvistavat. Tarkasteltaessa kuvassa 10 nähtävää kuvan 9 mikrorakennetta voidaan siinä havaita orgaanista sienirihmastoja, hiilipalloja ja muuta ilmansaasteiden mukanaan tuomia materiaaleja, jotka lisäävät adsorptioveden määrää. Tämä esimerkki osoittaa, miten tärkeää on maalipinnoille muodostuvien halkeamien ennalta estäminen tai välitön poistaminen ajatellen kipsikappaleiden pitkäaikaiskestävyyttä.

Vertailtaessa eri kipsilaatuja ja niistä valmistettujen kappaleiden huokoisuuksia esimerkiksi pakkasen kestävien poltettujen tiilien ja laastien huokoisuuksiin havaitaan niiden huokosrakenteissa selvät yhtäläisyydet, jotka tulevat esiin myös vertailtaessa pakkasvaurioituneiden tiilien ja kipsien huokoisuuksia.





*Kuva 9. Kellotornin vaurioituneen kipsin huokosrakennetta*



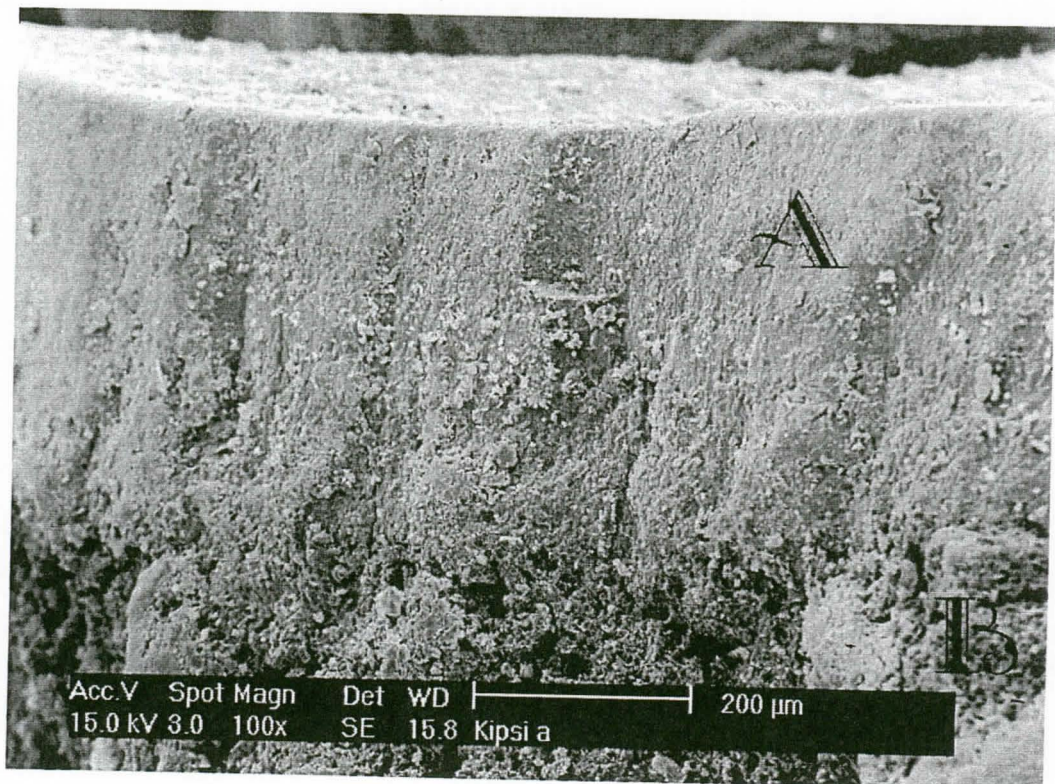
*Kuva 10. Kellotornin vaurioituneen kipsin pintarakennetta*

### 2.2.3. Impregnoinnin vaikutus kipsin rakenteelle

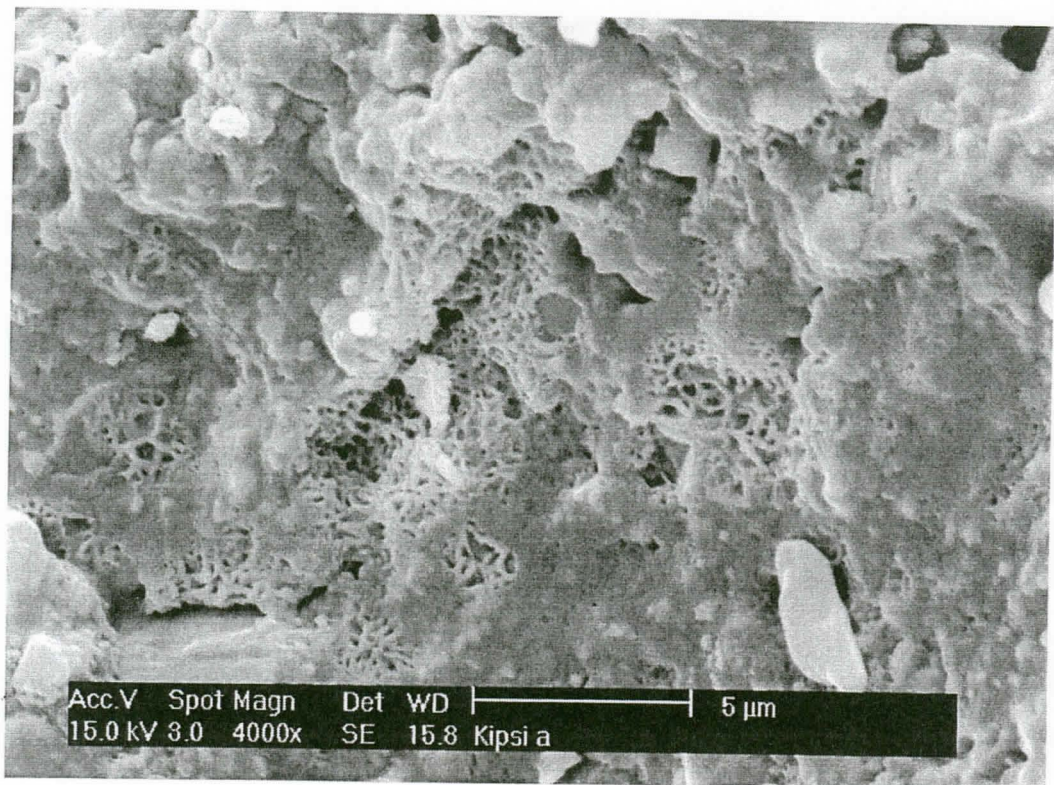
Ulkotiloihin sijoitetut kipsikappaleet on vuosisatojen ajan käsitelty vernissalla, joka on imeytetty kipsin pintaan. Käytännön kokemusten perusteella menetelmä on toiminut hyvin ja näin käsitellyt kipsikappaleet ovat kestäneet säärasituksia. Vernissakäsittely vaikuttaa kipsin rakenteeseen muuttamalla huokoisuutta. Kuvassa 11 nähdään vernissaimpregnoinnin vaikutus kipsin (A) pintaan, johon on muodostunut noin 0,4 mm vahvuinen tiivis rakenne (kuva 12). Taulukossa 2 on esitetty kipsin (a) käsittelemättömän osan ja impregnoidun pintaosan huokoskokojakaumat, joista voidaan selvästi havaita impregnoinnin vaikutus kipsin kestävyyttä heikentävien adsorptiohuokosten vähenemiseen.

	Kipsi (a)		Kipsi (b)	
	V (ml/g)	A (m <sup>2</sup> /g)	V (ml/g)	A (m <sup>2</sup> /g)
Gravitaatiohuokoisuus	0,0042	0,001	0,004	0,001
Kapillaarihuokoisuus	0,40	0,660	0,390	0,620
Adsorptiohuokoisuus	0,052	1,524	0,009	0,919

Taulukko 2. Käsittelemättömän kipsin (a) ja vernissatun kipsin (b) huokoisuusominaisuudet



Kuva 11. Impregnoidun kipsin (A) pintarakenne

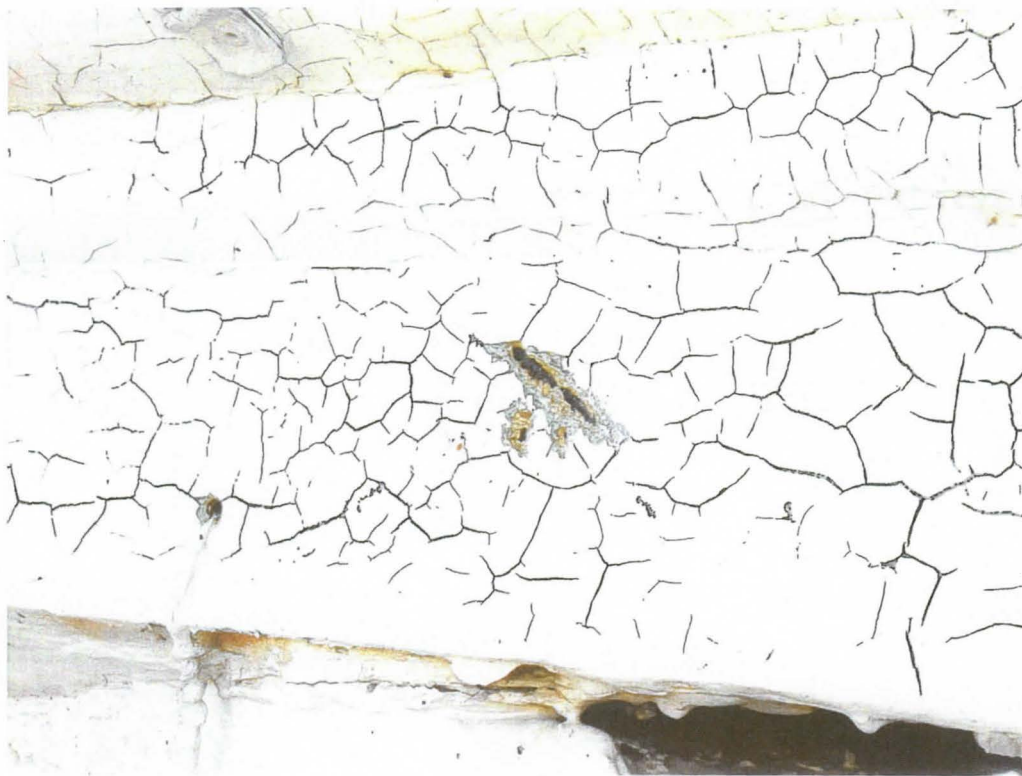


*Kuva 12. Impregnoitun kipsin (A) pintakerroksen mikrorakennetta, josta nähdään miten rakenne on muuttunut tiiviiksi*

#### **2.2.4. Tuomiokirkon pintamaaleista**

Tuomiokirkossa on suoritettu useita pintamaalauksia vuosikymmenten aikana. Maalityypit ja maalausolosuhteet ovat vaihdelleet ja myös kipsipintojen käsittelyt ovat vaihdelleet vanhan maalin poistosta uuden maalin pohjustukseen. Olosuhteet, joissa työt on jouduttu tekemään, ovat olleet haastavia kirkon sijainnista johtuen.

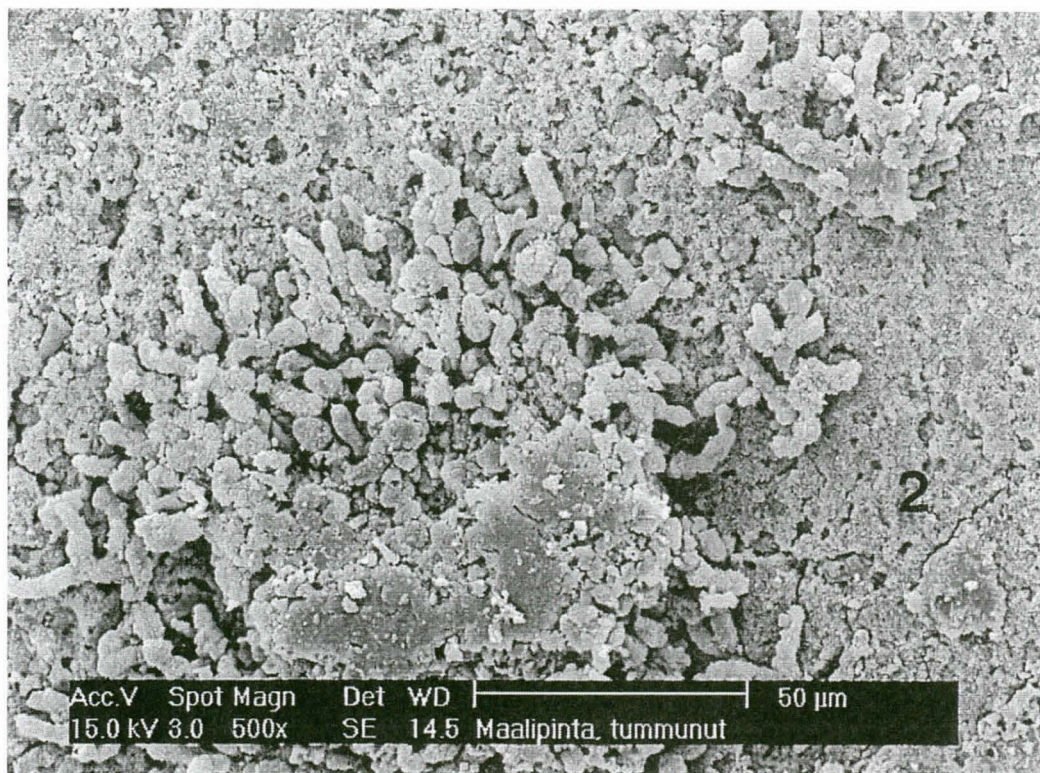
Tarkasteltaessa maalausten epäonnistumisia vuosina 2005 ja 2006 tehtyjen tutkimusten pohjalta esille tulee kaksi maalausvaurioiden päätekijää, joista maalipinnan verkkomainen halkeilu (kuva 13) on ehdottomasti rakenteen kestävyyskannalta pahempi. Tämä johtuu siitä, että erityisesti kirkon etelän- ja lounaanpuoleisiin seiniin kohdistuvat erittäin voimakkaat säärasitukset. Pakkasvaurioiden lisäksi maalin verkkohalkeilu edesauttaa ja nopeuttaa seinässä olevien tuki- ja tartuntarautojen ruostumista.



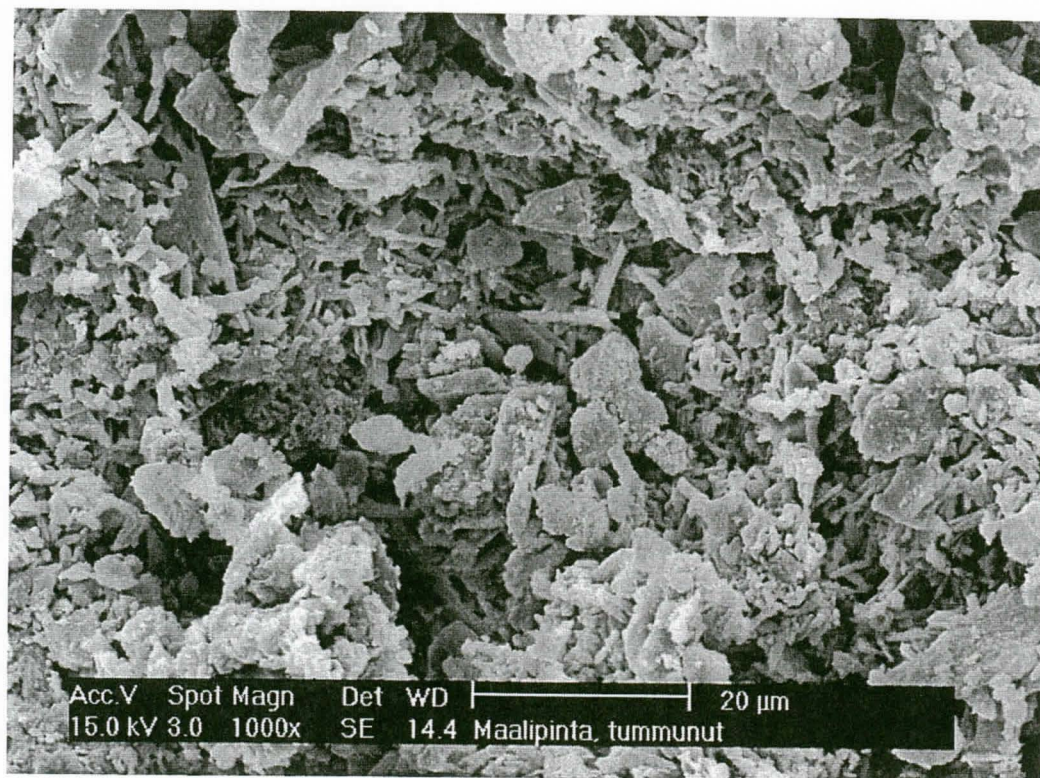
*Kuva 13. Verkkomaisesti halkeillut pintamaali. Kuvassa nähdään myös säärasituksen aiheuttama kipsipinnan lohkeaminen, joka johtuu tukiraudan ruostumisen aiheuttamasta paineesta. Vaurion perussyy on kosteuden tunkeutuminen pohjakipsiin maalissa olevien rakojen kautta.*

Toinen esille tullut vaurioitumiseen vaikuttava tekijä on puhdistetun tai korjatun kipsipinnan impregnoinnin epäonnistuminen. Esimerkiksi kuvan 13 ruostuneen raudan päällä olevassa kipsissä ei havaittu merkkejä impregnoinnista. Tässä tapauksessa halkeaman kautta päässyt vesi imeytyi pohjakipsiin ja piti sen kosteana, jolloin raudan ruostumiselle oli hyvät edellytykset, koska tällaisen rakenteen kuivuminen on erittäin hidasta. Kuvan 11. esimerkki ei ole tyypillinen, koska metallireunat on yleensä päällystetty kalkki-sementtilaastilla.

Kirkon maalipintoihin kohdistuu myös sääolosuhteiden aiheuttamia rasituksia, jotka näkyvät maalipintojen tummumisena. Kuvissa 14 ja 15 nähdään orgaanisen materiaalin vaikutusta maalipintaan. Orgaaninen aines sitoo itseensä kosteutta ja yhdessä tuulen ja lämpötilavaihtelujen vaikutuksesta heikentää maalipinnan kipsiä suojaavaa vaikutusta. Kuvassa 14 nähdään orgaanista materiaalia todennäköisesti levää (1) ja pieniä kuoppia maalipinnassa (2). Tutkittaessa vanhojen, 1900-luvun alkupuolella poistettujen kipsikoristeiden (kuva 16) pintarakenteita havaittiin niissä samanlaisia kuoppia (kuvat 17 ja 18), jotka ovat syntyneet todennäköisesti orgaanisen eliöstön ja sääolosuhteiden yhteistyönä. Kuvasta 19 voidaan havaita miten ilmansaasteet aiheuttavat lisäkuormitusta vaurioituneille kellotornin kapiteeleille.



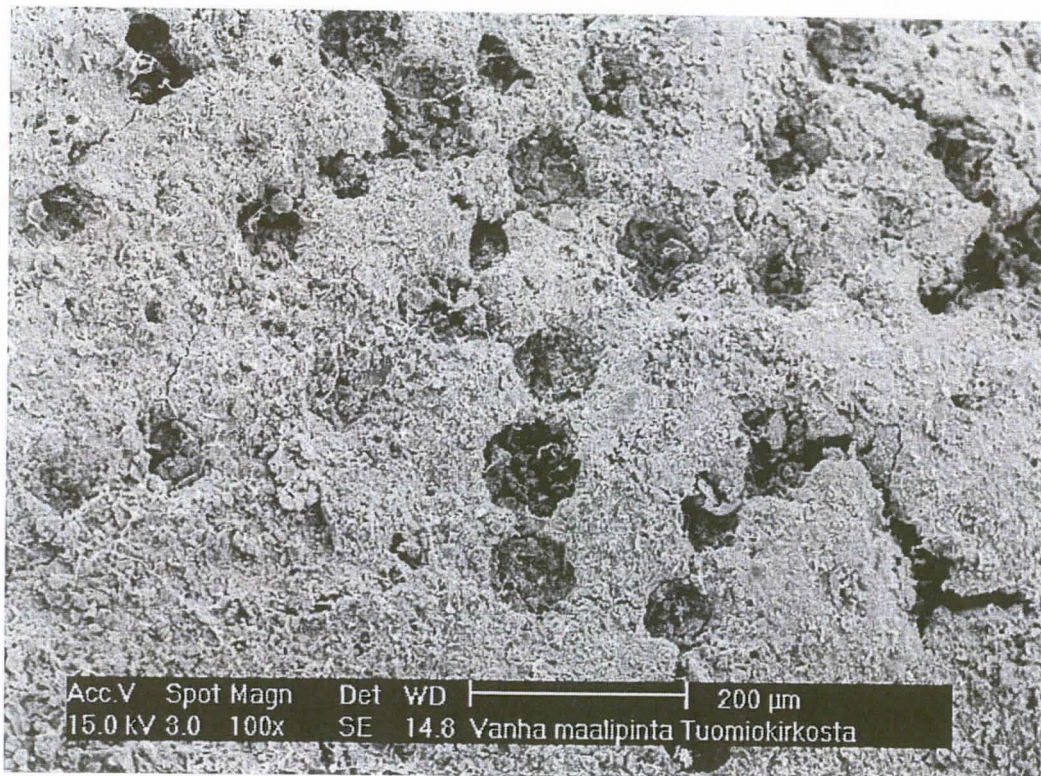
*Kuva 14. Orgaanista materiaalia (1) ja pieniä kuoppia (2) tummuneella maalipinnalla*



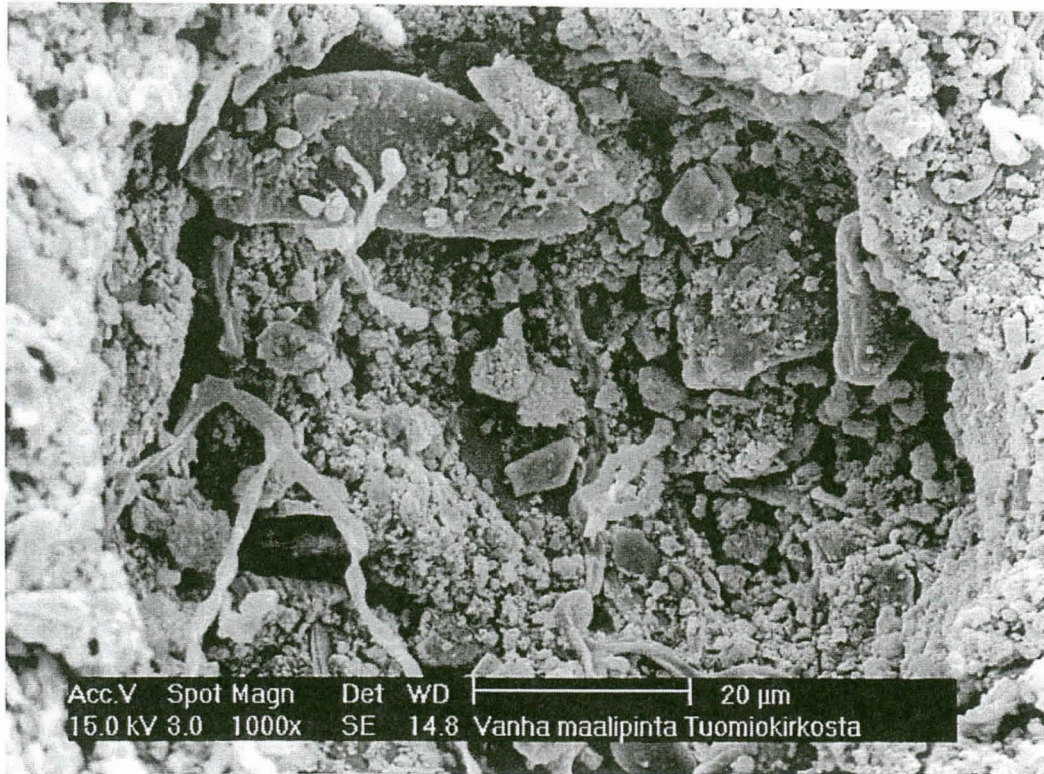
*Kuva 15. Orgaanisen materiaalin aiheuttamia syöpymiä maalipinnassa*



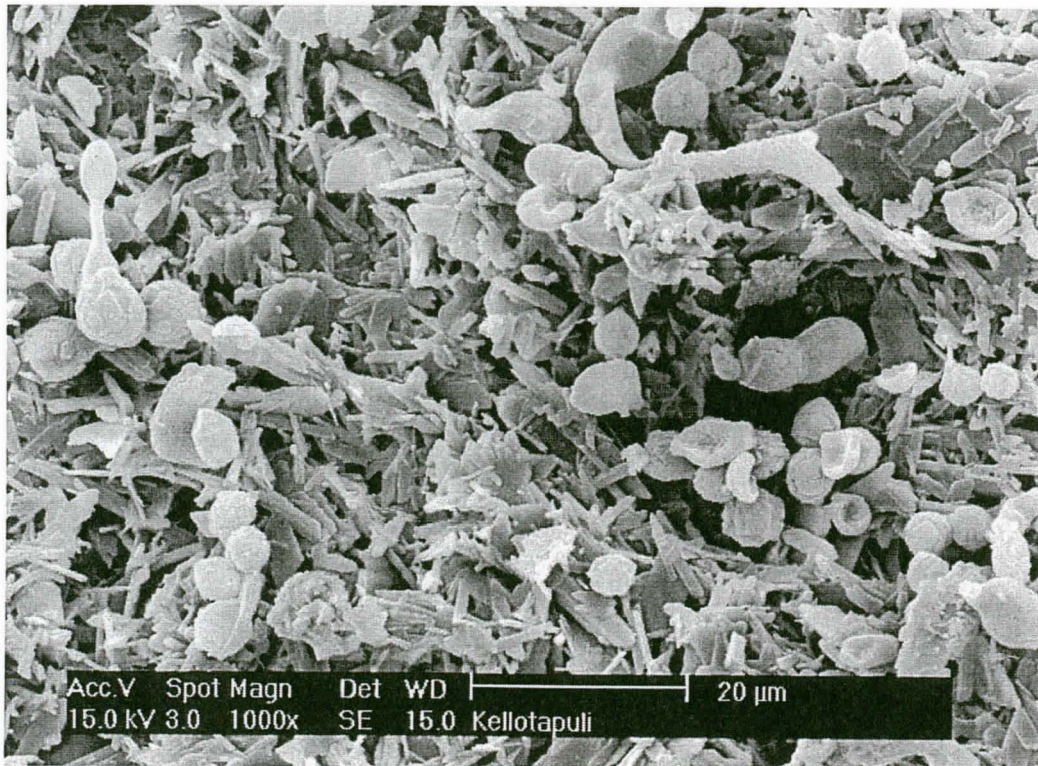
*Kuva 16. Vanha kipsikoriste 1900-luvun alkupuolelta*



*Kuva 17. Vanhan kipsikoristeen (kuva 16) maalipinnan rakennetta. Pyöreät kuopat ovat todennäköisesti saaneet alkunsa orgaanisen aineksen toiminnasta.*



*Kuva 18. Yksityiskohta kipsikoristeen (kuva 17) kuopasta, joka sisältää mm. piilevän kappaleen ja levärihmastoa*



*Kuva 19. Kellotornin kapiteelin pintarakennetta alueella, josta maali on kulunut pois (kts. kuva 8)*

### 2.3. LABORATORIOTESTAUKSET

Laboratoriotestausten pääpainona oli erilaisten pintamaalityyppien kestävyuden selvittäminen jäädytys-sulatuskokeilla. Kokeet suoritettiin standardimenetelmän mukaisesti säätestausarkussa. Testauksessa lämpötilavaihtelut säädettiin +20°C ja -10°C välille. Käytännössä kaapin kuormituksesta johtuen pakkanen jäi kuitenkin -8°C ja -10°C välille. Testauksen lopputuloksen kannalta tällä ei kuitenkaan ollut mitään merkitystä, koska tärkeintä oli kappaleiden jäätyminen ja jäätyneenä oloaika, joka oli keskimäärin 4 tuntia. Liitteessä 1 on esitetty näytteiden keskimääräinen rasitusyksi ja näytteiden kosteuspitoisuudet testien aikana.

Näytteiden peruskosteus ennen testejä muodostui upottamalla maalattu kipsikoristeen osa veteen 2 vuorokauden ajaksi. Koejärjestely suoritettiin siten, että maalaamaton kipsialue ei kastunut. Tämän jälkeen kappaleet suljettiin muovipussiin, jotta lämmitysjakso ei kuivaisi näytteitä ja vaurioittaisi maalipintoja.

Liitteessä 2 on esitetty kolmen eri kipsikoristesarjan näytteet ja eri pintakäsittelyt. Maalauskoeket tehtiin vanhoille puhdistetuille kipsikoristeille ja uusille kipsikoristeille sekä uusille pienille kipsikappaleille. Koekappaleet valmistettiin Entisöinti Pullan Oy:n tiloissa entistäjä Peter Backmannin toimesta.



*Kuva 20. Neljään osaan jaettu kipsiornamentti pakkas-sulatuskokeiden jälkeen. (1) puhdas kipsi, (2) vernissattu kipsi, (3) TEHO öljymaali ja (4) vernissattu pohja ja TEHO öljymaali pinnassa*

Kuvasta 20 nähdään, miten erilaiset kipsin pintakäsittelyt vaikuttavat kipsin pintarakenteeseen. Kipsiornamentti sahattiin neljään yhtä suureen lohkokoon, jotka käsiteltiin eri tavalla. Ensimmäinen lohko (1) oli käsittelemätön, toinen (2) oli vernissakäsitelty, kolmannessa lohkossa (3) oli käsittelynä pelkkä TEHO öljymaali ja neljännessä lohkossa (4) käsittelynä oli vernissapohjustus ja pinnassa TEHO öljymaali. Kipsiornamentti oli samassa jäädytys-sulatustestissä muiden kipsikoristeiden kanssa. Kipsilohkojen pinnoista vaurioitui ainoastaan (3), joka oli pinnoitettu pelkällä öljymaalilla. Ensimmäisen ja toisen lohko väri muuttui, mutta pintarakenne säilyi muuten ehjänä. Koe osoitti, että kipsi kestää pakkasrasitusta, mutta koska se on suhteellisen hauras materiaali ja kosteana sen pinta pehmenee, on puhtaan kipsin pinta käytännössä hyvin eroosioherkkä.



## 2.4. PINTAKÄSITTELYKOKEIDEN TULOKSET

### 2.4.1. Vanhojen, uudelleenmaalattujen koekappaleiden käyttäytyminen

Liitteessä 2 on esitelty koekappaleet. Jäädytys-sulatuskokeiden jälkeen kipsikoristeissa havaittiin muutoksia. Tulokset on esitetty numerojärjestyksessä:

- 1) Maalikalvo ehjä, mutta hieman kupruillut ja väri kellastunut
- 2) Maali osittain irronnut ja halkeillut sekä pinta kupruillut
- 3) Maalikalvo pääosin ehjä, pieniä halkeamia ja ilmakuplia
- 4) Maalikalvo pääosin ehjä, pieniä halkeamia ja ilmakuplia
- 5) Maalikalvo ehjä, hieman ryppyjä ja väri kellastunut
- 6) Maalikalvo kutistunut ja halkeillut, mutta kiinni (samankaltainen ilmiö kuin Tuomiokirkon kipsikoristeissa)
- 7) Maalikalvo kiinni, mutta pieniä ilmakuplia sekä halkeamia
- 8) Maalikalvo ehjä, mutta pieniä kuplia ja muutama pieni halkeama. Väri kellastunut voimakkaasti

### 2.4.2. Uudet kipsikoristeet

Liitteessä 2 on esitelty koekappaleet. Tulokset on esitelty numerojärjestyksessä:

- 1) Maalipinta pysynyt kiinni, mutta koriste murtunut kokeiden aikana
- 2) Maalipinta pysynyt kiinni
- 3) Maalipinta pysynyt kiinni
- 4) Maalipinta pysynyt kiinni
- 5) Maalipinta ehjä, mutta kalvon alla ilmakuplia ja väri kellertävä
- 6) Maalipinta pysynyt kiinni, mutta pinnassa pieniä hiushalkeamia
- 7) Maalipinta pysynyt kiinni
- 8) Maalipinta pysynyt kiinni
- 9) Pelkkä vernissapinta
- 10) Maalipinta pysynyt kiinni, hieman kellertävä
- 12) Maalipinta lohjennut levymäisesti
- 15) Maalipinta irronnut levymäisesti
- V) Käsittelemätön kipsipinta, jossa hieman homelaikkuja
- K) Maalipinta irronnut levymäisesti
- S) Maalipinta kiinni, mutta pinnassa pieniä hiushalkeamia

Kokeissa maalipinnoille muodostuneet vauriot voidaan jakaa kahteen osaan:

- Maalipinnassa oli halkeamia ja maali irtosi levymäisesti (vanhoissa kipsikoristeissa näytteet 2, 6 ja 7 sekä uusissa näytteet 12, 15 ja K).
- Pinnan vaurioitumisen aiheutti maalikalvon alle päässyt vesi, joka muodosti sinne erikokoisia kuplia ja ryppyjä. Tällaista ilmiötä ei todennäköisesti synny normaalissa ulkoilmassa, koska testin kosteusolosuhteet ovat poikkeuksellisen rankat.

### 2.4.3. Pienet kipsikappaleet

Liitteessä 2 on esitetty koekappaleet. Näillä kappaleilla tutkittiin eri maalipintojen veden adsorptiokykyä. Taulukossa 3 on esitetty koetulokset. Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että maalipintojen veden adsorptioissa ei ole merkittäviä eroja

lukuunottamatta näytettä 15. Tulosten tasaisuuteen vaikuttaa osaltaan se, että kaikki koekappaleet pohjustettiin vernissalla lukuunottamatta näytettä 15. Maalikalvojen huokoisuuksissa ei todennäköisesti ole suuria adsorptioeroja.

näyte nro	lasilevy (g)	kuiv.kipsipala+ lasilevy (g)	kuiv.kipsipala (g)	paino 1kk (g)	adsorptio %
1	25,7293	103,12	77,3907	103,9288	1,05
2	25,7293	100,18	74,4507	101,0218	1,13
3	25,7293	101,54	75,8107	102,5343	1,31
4	25,7293	98,81	73,0807	99,7182	1,24
5	25,7293	98,16	72,4307	99,4194	1,74
7	25,7293	98,34	72,6107	99,2356	1,23
8	25,7293	99,73	74,0007	100,5116	1,06
14	25,7293	101,11	75,3807	101,9299	1,09
6	25,7293	96,91	71,1807	98,1256	1,71
15	25,7293	90,78	65,0507	96,4998	8,79

*Taulukko 3. Pienten kipsikappaleiden veden adsorptio*

## 2.5. KIPSIKORISTEIDEN ELINKAARI

### 2.5.1 Ympäristötekijät

Helsingin tuomiokirkko sijaitsee alueella, jolla ympäristöolosuhteet aiheuttavat rakenteille ja materiaaleille erityisiä kestävyysvaatimuksia. Kirkko sijaitsee muuta ympäristöä korkeammalla meren läheisyydessä, joten tuulten aiheuttamien ilmastovirtausten muodostamat rasiukset yhdessä sateiden ja pakkasen kanssa aiheuttavat Suomen oloissa poikkeuksellisen suuret rasiukset ulkoseinien pintamateriaaleille.

Kirkon kaakkois- ja eteläpuolella sijaitsevalta merialueelta tulee voimakkaita kosteita tuulia, jotka sisältävät myös ilmassa olevia epäpuhtauksia. Nämä ilmastovirtaukset aiheuttavat kirkon kulmikkaissa rakenteissa pyörrevirtauksia, jotka kuluttavat kirkon pintarakenteita. Tästä on hyvänä esimerkkinä kuvassa 21 näkyvä kirkon eteläseinän maalipinnan epätasainen kuluminen.

Kesällä 2006 ja 2007 tehdyissä kirkon ulkorakenteiden tarkastuksissa voitiin jakaa kirkko ulkoisten rasiusten kannalta kolmeen päälohkoon. Kaakkois- ja eteläpuolen seinärakenteisiin kohdistuu erittäin voimakas rasitus. Länsipuolen rasitus on selvästi vähäisempi. Säärasitukset pohjois- ja itäpuolella ovat merkittävästi vähäisemmät kuin kirkon kaakkois- ja eteläpuolella.

### 2.5.2 Rakenteiden elinkaareen vaikuttavista tekijöistä

Rakenteiden elinkaarta voidaan tarkastella usealla eri tavalla ja eri lähtökohdista. Tuomiokirkon kohdalla on kaksi elinkaareen vaikuttavaa päätekijää, joihin ei voida vaikuttaa suoraan vaan niiden kanssa on tultava toimeen. Ensimmäinen ja

tärkein tekijä on kirkon sijainti ja siitä aiheutuvien rasitusten ennaltaehkäisy. Toinen tekijä, johon ei voida vaikuttaa, on kirkon ulkokoristeiden materiaali eli kipsi. Nämä tekijät on huomioitava arvioitaessa ja suunniteltaessa kirkon ylläpito- ja kunnostustoimenpiteitä.

Ihmisen vaikutusmahdollisuudet kirkon rakenteiden elinkaareen perustuvat ylläpitotoimenpiteiden oikea-aikaisuuteen ja oikeiden työmenetelmien ja materiaalien valintaan.

### **2.5.3 Kirkon kipsikoristeiden elinkaaren pidentäminen**

Paikan päällä tehtyjen havaintojen ja laboratoriotutkimusten perusteella ehdottomasti paras ja pitkällä aikavälillä taloudellisin menetelmä on kirkon rakenteiden jatkuva ylläpito. Tämä perustuu joka vuosi tehtävään ulkorakenteiden silmämääräiseen tarkastukseen siten, että kaakkois- ja eteläpuoli tarkastetaan joka vuosi, länsipuoli joka toinen sekä pohjois- ja itäpuoli joka kolmas vuosi. Kun kirkon kaikki ulkorakenteet on kerran kierretty, arvioidaan tarkasteluaikavälien sopivuus uudelleen.

Tässä vuositarkastuksessa kirjataan mahdolliset havaitut vauriot ja korjataan välittömästi pienet maalivauriot. Tuleviin korjaustoimenpiteisiin varaudutaan valmistamalla vaihdettavia varakappaleita ja osia vaurioituneiden kipsikonsolien ja kapiteelien tilalle. Kun laboratoriossa tutkittiin vaurioituneita kipsikoristeita, havaittiin lähes poikkeuksetta uuden vaurion syntyneen vanhan vaurion ja korjauksen rajapintaan. Tämä on ymmärrettävää, koska korjausolosuhteet työmaalla ovat työn onnistumisen kannalta erittäin vaikeat.

Paikan päällä tehdyillä kipsikoristeiden paikkakorjauksilla heikennetään koristeen pitkäaikaiskestävyyttä, koska vanhan ja uuden rakenteen välille muodostuvat rajapinnat voivat olla hyvin epästabiileja.

Vanhoja kipsikoristeita voidaan kunnostaa. Kunnostustyö on tehtävä sisätiloissa, jossa olosuhteet ovat hallinnassa. Vaurioituneesta alueesta on poistettava öljyllä käsitelty alue, koska sen huokoisuus poikkeaa merkittävästi tuoreen paikkauskipsin huokoisuudesta. Työn onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että uuden kipsilaastin ja vanhan kipsin huokoisuudet ovat mahdollisimman lähellä toisiaan.

Kirkossa on käytetty erilaisia materiaaleja eli kipsiä, kalkki-sementtilaastia ja metalliosia. Eri materiaalien rajapintoihin muodostuu lämpötilojen vaihtelun seurauksena jännitystiloja, jotka tulevat esiin erilaisina halkeamina ja rakoina. Näiden paikkaukseen ei pidä käyttää orgaanisia massoja, vaan vuosihuollon yhteydessä käytetään samoja aineita kuin ympärillä, jos tilanne sitä ehdottomasti vaatii.

Auringon UV-säteily vaikuttaa maalin väriin. Valkoisen värin muutokset eivät ole häiritsevän suuria paikkamaalauksessa, jos se on pienimuotoista. Vuosihuollon yhteydessä voidaan värimittarilla mitata seinän ja kipsikoristeiden väri ja tarpeen vaatiessa pigmentoida paikkausmaali.

Pitkällä aikavälillä kirkossa nyt käytettyjen materiaalien saatavuudessa ja ominaisuuksissa voi esiintyä ongelmia. Kipsin suhteen ongelmia ei todennäköisesti muodostu, koska valukipsin (Plaster of Paris, hemihydraatti kipsi) laatu ei merkit-

tävästi vaikuta kipsikappaleen huokosrakenteeseen. Käytettäessä lisäaineita valun yhteydessä voidaan kipsikappaleen rakennetta ja ominaisuuksia muuttaa

Suurimmat ongelmat voivat muodostua pintamaaleissa, joiden rakennetta ja käyttöominaisuuksia ei välttämättä saada ennakolta selville kirkon vaativissa olosuhteissa. Maalien käyttöominaisuuksia voidaan selvittää käsittelemällä seinässä olevia kipsikonsoleita eri maaleilla ja erilaisilla käsittelytavoilla ja seuraamalla vuositarkastusten yhteydessä niiden käyttäytymistä. Tarvittaessa seurattavia malleja poistetaan ja vaihdetaan uusiin.

Korjausmateriaalien valintaa voidaan ohjata tulevaisuudessa dokumentoimalla kirkossa nyt käytetyt materiaalit mahdollisimman tarkasti ja kirjaamalla vuositarkastuksissa eri materiaalien senhetkinen kunto mahdollisimman tarkasti sekä silmämääräisesti että valokuvien avulla.

### **3. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET**

Laboratoriossa suoritetuissa säärasituskokeissa kipsikoristeet osoittautuivat hyvin säänkestäviksi. Selitys tähän löytyy kipsikoristeiden huokoskokojakaumasta. Valettujen kipsikoristeiden huokoisuudesta ainoastaan pieni osa on ns. adsorptiovesihuokosten (alle 1 mikronia) alueella. Säänkestävyyden kannalta kapillaarivesihuokosten (10 - 1 mikronia) ja adsorptiovesihuokosten yhteisvaikutus on merkittävin vaurioitumisriskiä lisäävä tekijä. Näistä adsorptiohuokosten määrällä on keskeisin asema pakkasvaurioiden esiintymisessä. Tämä on tullut esille myös Tuomiokirkon kipsivaurioita tutkittaessa. Tästä on hyvä esimerkki tutkimusten ensimmäisessä osassa kuvassa 5 sivulla 5.

Tuomiokirkon relieffien vaurioitumismekanismi on lähtenyt liikkeelle maalipinnan halkeilusta, jolloin vesi on päässyt kostuttamaan kipsin, joka on hiljalleen pehmentynyt. Tuulen ja veden yhteisvaikutuksesta rakoon kohdistuu huomattavasti suurempi vedenpaine kuin ympärillä olevaan maalipintaan. Rakoon paineella tunkeutuva vesi pehmentää ja liuottaa kipsiä aloittaen näin ns. eroosioprosessin, jossa muodostuu pieniä alle 1 mikronin huokosia. Näissä huokosissa oleva vesi haihtuu/kuivuu hyvin vaikeasti, jolloin kosteana pysyvä kipsirakenne alkaa toimia vesivarastona, joka pakkasten tullessa jäätyy ja laajentuu 8-9 %. Seurauksena on hauraan kipsirakenteen mureneminen. Kipsin vernissakäsittely ei estä yksinään tätä eroosioilmiötä vaan ainoastaan hidastaa sitä. Kipsirelieffien säänkestävyys muodostuu vernissapohjustuksesta, jolla vähennetään merkittävästi adsorptiovesihuokosten määrää ja ehjän maalipinnan yhteisvaikutuksesta.

Laboratoriokokeissa testatuista kipsikoristeiden pintakäsittelyistä parhaiten menestyivät vernissapohjustetut ja öljymaalilla pinnoitetut kappaleet.

Tuomiokirkon kipsikoristeiden pitkäaikaiskestävyyden parantaminen edellyttää säännöllisin välein tehtävää kuntotarkastusta. Tällöin tulee erityisesti kiinnittää huomiota maalipintojen kuntoon. Erityisesti maalipinnoissa esiintyvät halkeamat tulee korjata välittömästi, koska vaurioituminen alkaa juuri näistä kohdista. Maalipintojen kuntoarvio tulisi suorittaa esimerkiksi joka toinen vuosi kirkon etelä- ja länsiseinillä, koska säärasitus on näillä seinillä suurin.

Kellotornin eteläseinän kipsikapiteelit tulisi korjata mahdollisimman pian, koska niissä vaurioituminen on jo edennyt pitkälle.

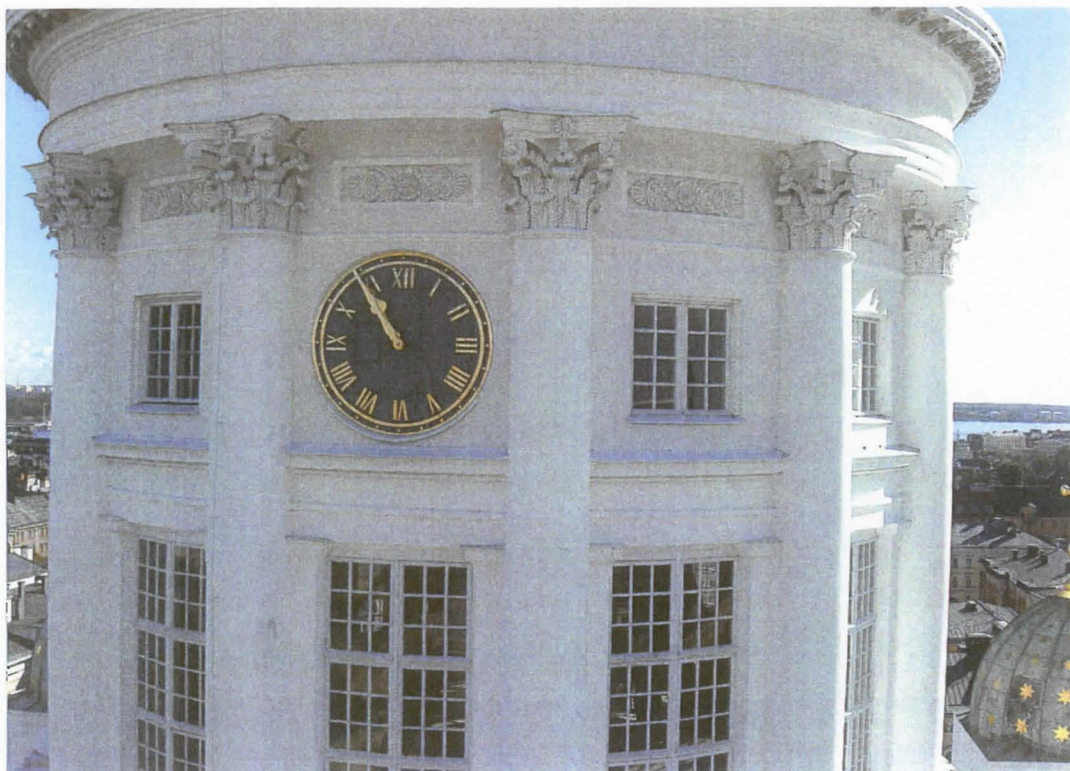
## 4. YHTEENVETO TUOMIOKIRKON KIPSIKORISTEIDEN KUNNOSTUS- JA YLLÄPITOTOIMENPITEISTÄ

### 4.1. Yleistä

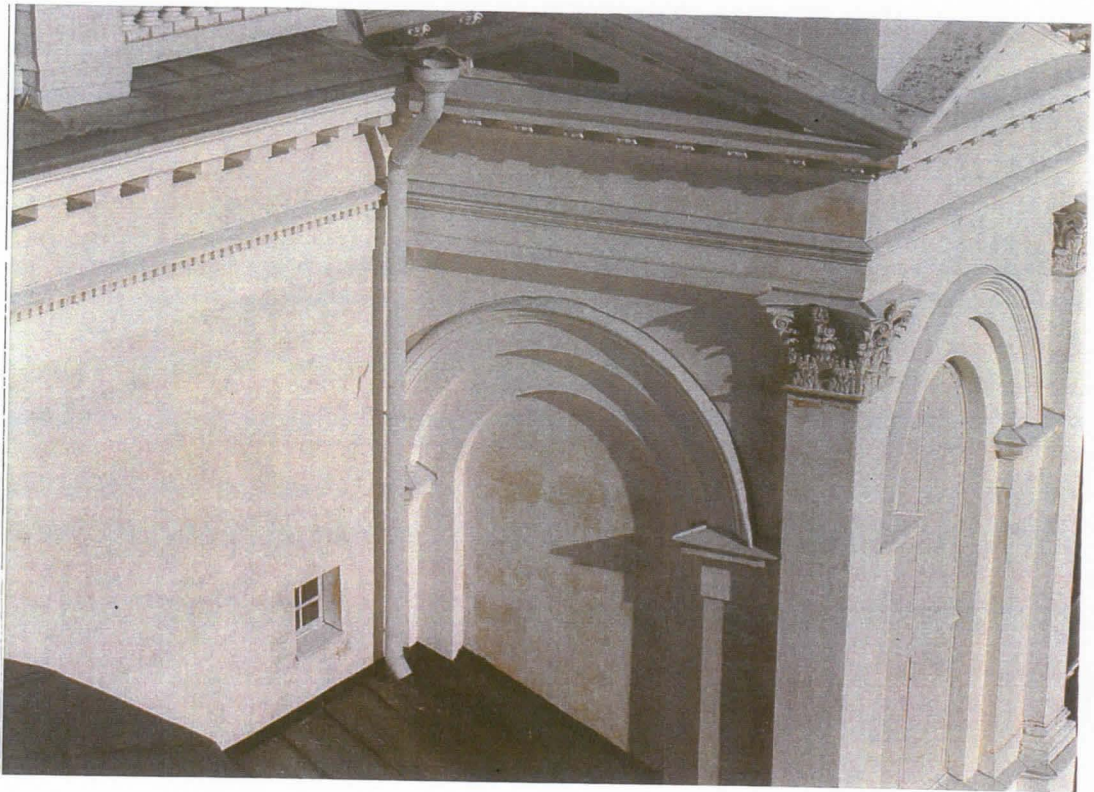
Tämä yhteenveto perustuu vuosien 2005 ja 2006 aikana tehtyjen tutkimusten pohjalta laadittuihin kahteen raporttiin. Ensimmäisessä raportissa keskitytään vaurioituneiden kipsireliefien huokoisuusominaisuuksien selvittämiseen ja huokoisuuden vaikutukseen vaurioiden muodostumisessa. Kesällä 2006 tehdyissä tutkimuksissa kirkolla tehdyt selvitykset perustuvat silmämääräisiin havaintoihin ja valokuvien pohjalta tehtyihin päätelmiin, joita on täydennetty laboratoriossa tehdyillä tutkimuksilla. Tulosten pohjalta annetut suositukset ovat lähinnä suuntaa antavia, sillä tuomiokirkon kipsikoristeiden pitkäaikaiskestävyyden arviointiin vaikuttaa lukuisa määrä muuttujia, joiden vaikutusta ei voida selvittää lyhyellä aikavälillä.

### 4.2. Ympäristöstä johtuvat rasitustekijät ja niiden huomioiminen

Tuomiokirkko sijaitsee alueella, jossa ympäristöolosuhteet luovat rakenteille ja materiaaleille erityisiä kestävyysvaatimuksia. Kirkon kaakkois- ja eteläpuolella ympäristön rasitukset ovat voimakkaimmat. Kellotornin kapiteelien kunnosta voidaan havaita ilmansuuntien vaikutus, sillä ainoastaan kellon oikealla puolella olevissa kolmessa kapiteelissa esiintyi vaurioita. Kuvassa 23 nähdään, miten kosteus- ja lämpörasitusten lisäksi voimakkaat mereltä tulevat pyörteiset ilmavirtaukset kuluttavat kirkon seinän maalipintoja ja kipsirakenteita. Kirkon länsipuolella on myös merkkejä tuulen aiheuttamien pyörrevirtausten kuluttavasta vaikutuksesta. Ilmavirtausten kuluttava voima ja paikallisuus tulee hyvin esille kuvassa 23 näkyvässä puurakenteessa.



Kuva 21. Kirkon kellotorni ja kapiteelit



Kuva 22. Kirkon etelä-kaakkoiskulma



Kuva 23. Kirkon lounais-länsiseinä

### 4.3 Rasitustekijöiden huomioiminen

Ympäristön rasitustekijät tulee huomioida suunniteltaessa kirkon vuosittaista ulkorakenteiden tarkastusta. Kaakkois- ja eteläpuolen kipsirakenteiden kuntoa on seurattava vuosittain. Lounais- ja länsipuolella säärasitus on selvästi vähäisempi, jolloin todennäköisesti vuositarkastuksissa saatavan kokemuksen karttuessa tarkastuskertoja voidaan harventaa. Sama tilanne on myös kirkon pohjois- ja itäpuolen seinillä.

### 4.4 Kipsikoristeiden korjaustoimenpiteistä

Vuositarkastuksen yhteydessä havaitut kipsivauriot tulee luokitella korjaustarpeen ja vaurioasteen mukaisiin luokkiin. Välittömästi kunnostettavia ovat kipsikoristeiden pienet maalivauriot, joita on esitetty kuvissa 24, 25 ja 26.



Kuva 24. Välittömästi korjattavissa oleva maalivaurio

Jos kipsikoristeessa esiintyy maalivaurion lisäksi selviä rakennevaurioita, arvioidaan koristeen yleiskunto. Jos vaurio on pieni (kuva 27), korjataan ja dokumentoidaan vaurio ja maalataan paikan päällä. Koristeen korjauksen onnistumista seurataan vuositarkastusten yhteydessä. Kuvissa 28, 29, 30, 31 ja 32 nähdään kipsikoristeita, joiden vaurioitumisaste edellyttää joko koristeen kokonaista tai osittaista korvaamista ns. uudella varaosalla. Kuvasta 29 nähdään, miten ilmavirtaukset ovat kuluttaneet räystään alla olevasta osasta suojaavan maalikerroksen pois, mutta konsolin kärkiosa on syöplynyt voimakkaasti.



Kuva 25. Välittömästi korjattavissa oleva maalivaurio



Kuva 26. Välittömästi korjattavissa oleva maalivaurio

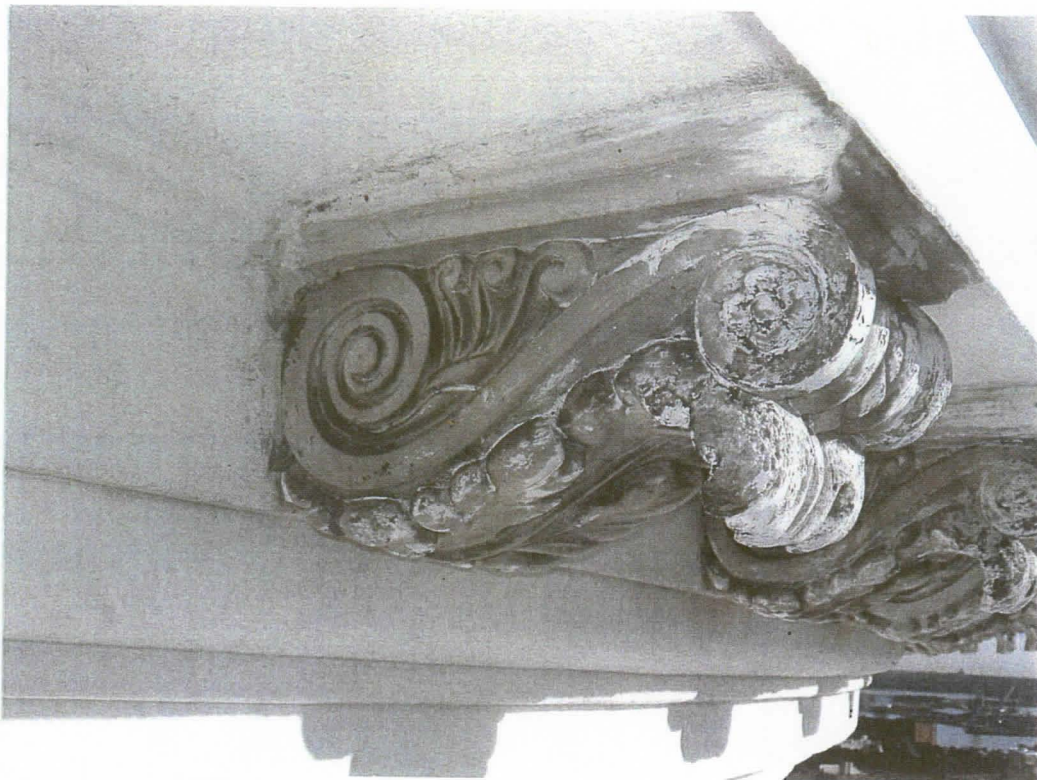




Kuva 27. Vaurioitunut kapiteelin osa, joka voidaan vaihtaa tai korjata



Kuva 28. Vaurioitunut kapiteeli, joka tulisi vaihtaa



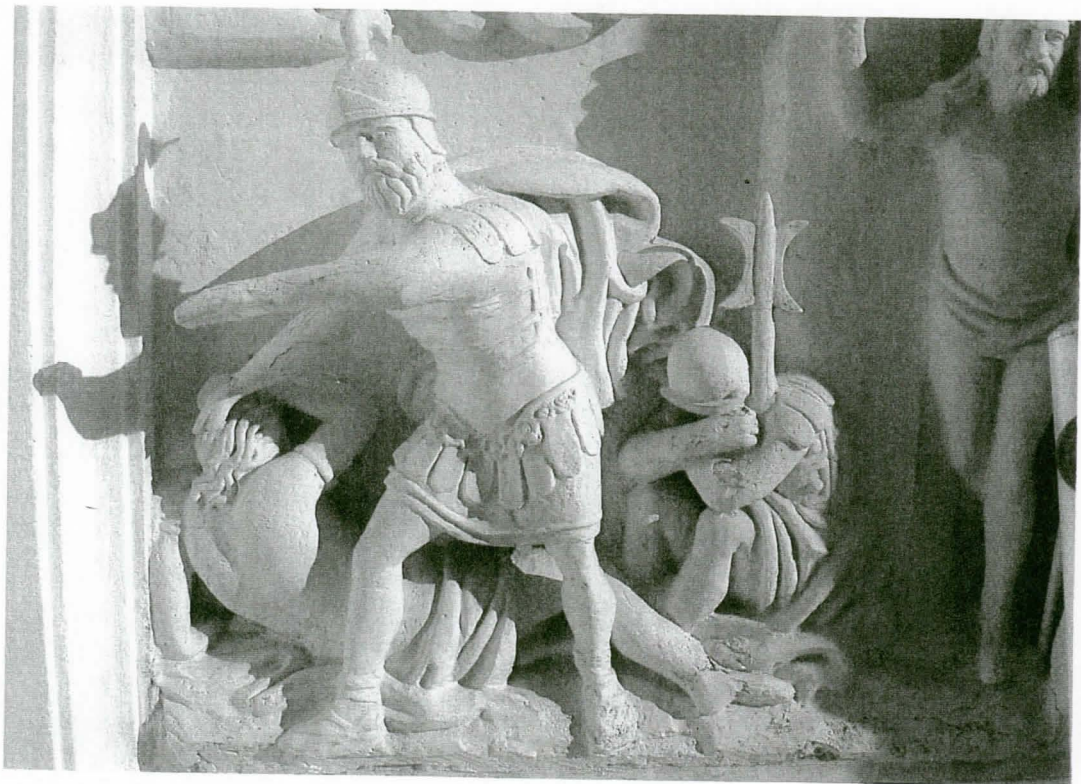
Kuva 29. Konsoli, jossa esiintyy erilaisia vaurioita



Kuva 30. Pahasti vaurioitunut kapiteelin osa, jossa esiintyy eriaasteisia syöpymiä



Kuva 31. Eriasteisia vaurioita konsolin kärkiosassa



Kuva 32. Kipsireliefi kirkon eteläseinältä. Reliefissä useita vaurioita, joita ei voi kestävästi korjata paikanpäällä



Kuva 33. Yksityiskohtia eteläseinän kipsireliefin vaurioista

Kuvassa 33 on yksityiskohta kuvan 32 kipsireliefindistä. Reliefi on uudelleenmaalattu, mutta maalipinnan alla vaurio on edelleen edennyt ja vaurioitumisaste pahentunut. Vauriokohtia on niin monta, että paikan päällä korjaus ei tule kysymykseen, vaan reliefi tulee korvata uudella ja poistettu reliefi korjataan sisätiloissa mahdollista myöhempää käyttöä varten. Kipsikoristeita tutkittaessa havaittiin, että useissa tapauksissa korjaustoimenpiteet paikan päällä olivat lisänneet ja nopeuttaneet kipsikoristeiden uudelleen vaurioitumista (tutkimuksen ensimmäinen osa, kuvat 1 ja 2). Kuvassa 34 nähdään, miten reliefin maalipinnan alla olevan kipsin rakenne vaihtelee. Kellertävän vernissalla impregnoitun kipsin huokosrakenne poikkeaa merkittävästi valetun kipsin huokoisuudesta, joka on selvästi huokoisempaa kuin vernissalla käsitellyn kipsin, joka on rakenteeltaan tiivistä (kts. kuvat 11 ja 12). Ulkotiloissa suoritetun kipsin vernissakäsittelyn onnistuminen edellyttää hyviä sääolosuhteita, joten kipsi paikkauksen epäonnistumisen riski on merkittävä. Korjauksen onnistuminen edellyttää yleensä sisätiloissa tehtyä toteutusta.

Valussa käytettävien kipsien laadulla ei ole merkittävää vaikutusta valukappaleen huokosrakenteeseen. Käytettäessä valun yhteydessä lisäaineita voidaan kipsikappaleen rakennetta ja ominaisuuksia muuttaa.

Tällä kipsikoristeiden vaihto- ja kierrätysjärjestelmällä voidaan pitkällä aikavälillä saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä, koska usein vaikeissa olosuhteissa paikanpäällä toteutetut kipsikoristeiden korjaus- ja huoltotoimenpiteet vähenevät.

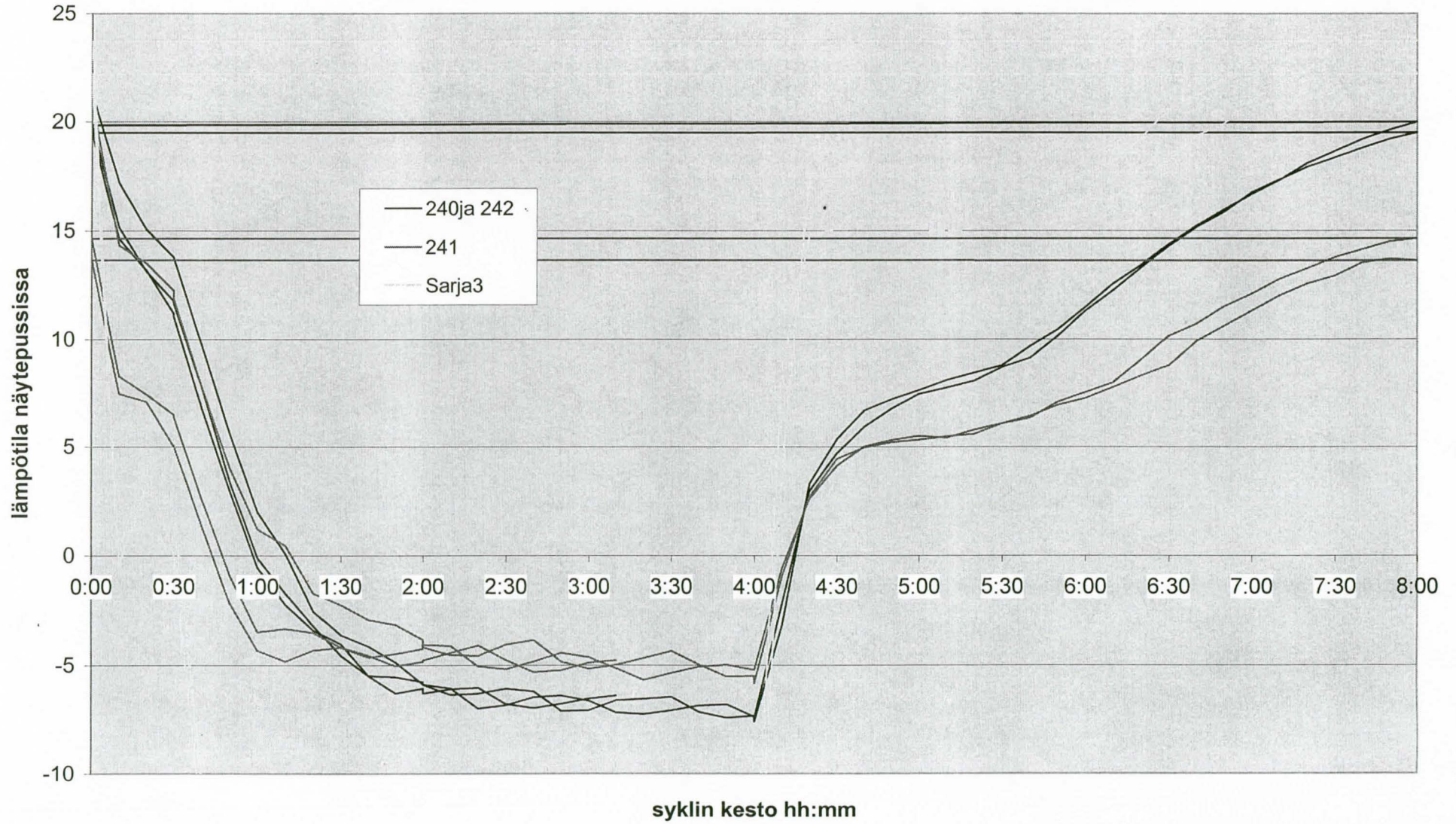
Kipsikoristeiden kiinnittämisessä käytetyt rautakiinnikkeet eivät aiheuta lämpölaajenemisen suhteen ongelmia kipsikoristeille, koska raudalla on kipsiä pienempi lämpölaajeneminen. Kiinnikkeiden kuntoa tulee kuitenkin seurata ja mahdolliset vauriot korjata. Kipsikoristeita irrotettaessa ja uudelleen kiinnitettäessä tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää vanhaa kiinnitystapaa, jos se on kunnossa ja on toiminut hyvin.



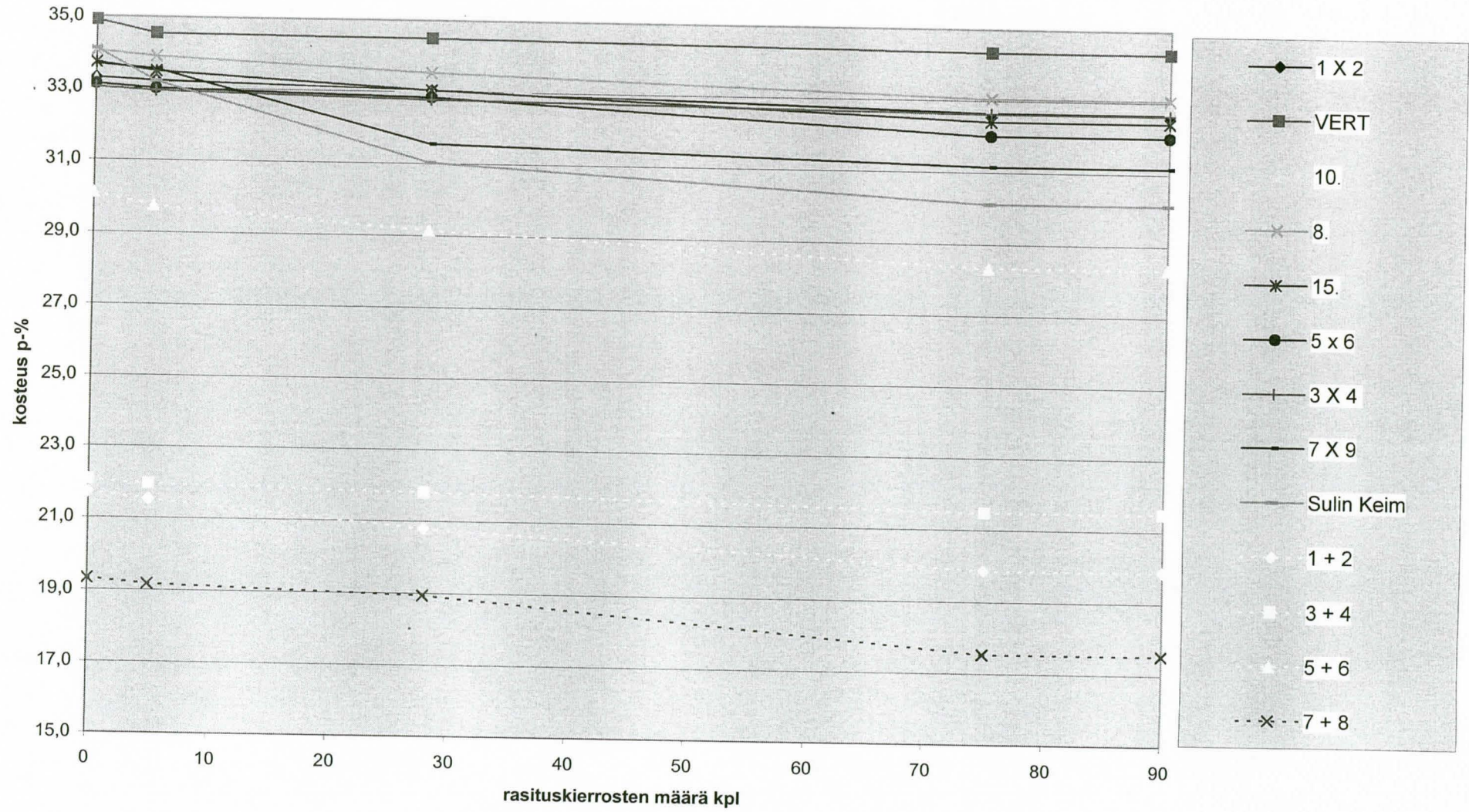
Kuva 34. Kipsireliefin maalipinnan alla esiintyvää rakennevaihtelua

Kipsikoristeiden pintakäsittelyssä käytettävät maalit muodostavat vaikeimmin hallittavan alueen, jossa väärä maalivalinta voi aiheuttaa huomattavia vaurioita. Suositeltavaa olisi toteuttaa pitkäaikainen maalikoe esimerkiksi kirkon eteläpuolen kipsikonsoleissa. Kokeessa seurattaisiin useamman eri maalin käyttäytymistä. Seuranta tapahtuisi vuositarkastuksen yhteydessä.

kipsit näytteiden keskiarvona 29-75 sykliä



Kipsinäytteet kosteus p-%



**HELSINGIN TUOMIOKIRKON KIPSIKORISTEIDEN MAALIKOE 2006**  
**VANHAT KIPSIKORISTEET**

1. PRELIN POHJUSTUS, 2X LINAL
2. 2X LINAL
3. PROFILIN POHJUSTUS, 2X TOPLIN
4. 2X TOPLIN
5. 2X RUSTHOLLI
6. BETOPRIME POHJUSTUS, 2X BETOPAINT
7. RK - PRIME, 2X RK - PELTIKATTOMAALI
8. 2X UULA - PELLAVAÖLJYMAALI



**HELSINGIN TUOMIOKIRKKO KIPSIKORISTEIDEN MAALIKOE 2006**

**UUDET KIPSIKORISTEET**

1. VERNISSAIMEYTYYS, PRELIN POHJUSTUS, 2X LINAL PINTAMAALI
  2. VERNISSAIMEYTYYS, 2X LINAL PINTAMAALI
  3. VERNISSAIMEYTYYS, PROFILIN POHJA, 2X TOPLIN PINTAMAALI
  4. VERNISSAIMEYTYYS, 2X TOPLIN PINTAMAALI
  5. VERNISSAIMEYTYYS, 2X RUSTHOLLI PINTAMAALI
  6. VERNISSAIMEYTYYS, BETOPRIME, 2X BETOPAINT
  7. VERNISSAIMEYTYYS, RK- PRIME, 2X RK-PELTIKATTOMAALI
  8. VERNISSAIMEYTYYS, 2X UULA PELLAVAÖLJYMAALI
  9. VERNISSAIMEYTYYS
  10. PULLAN PERINTEINEN VERNISSAIMEYTYYS, 2X TEHO ÖLJYMAALI
  15. 3X SIKAGARD 702 W- AGUAPHOB, 2X SIKAGARD SIL
- K ja S INSINÖÖRITOIMISTO SULININ MAALIKOE
- V. KÄSITTELEMÄTÖN KIPSIN PINTA

**HELSINGIN TUOMIOKIRKKO KIPSIKORISTEIDEN MAALIKOE 2006**

**PIENET KIPSIT**

1. VERNISSAIMEYTYS, PRELIN POHJUSTUS, 2X LINAL PINTAMAALI
2. VERNISSAIMEYTYS, 2X LINAL PINTAMAALI
3. VERNISSAIMEYTYS, PROFILIN POHJA, 2X TOPLIN PINTAMAALI
4. VERNISSAIMEYTYS, 2X TOPLIN PINTAMAALI
5. VERNISSAIMEYTYS, 2X RUSTHOLLI PINTAMAALI
6. VERNISSAIMEYTYS, BETOPRIME, 2X BETOPAINT
7. VERNISSAIMEYTYS, RK- PRIME, 2X RK- PELTIKATTOMAALI
8. VERNISSAIMEYTYS, 2X UULA PELLAVAÖLJYMAALI
14. PULLAN PERINTEINEN VERNISSAIMEYTYS, 2X TEHO ÖLJYMAALI
15. 3X SIKAGARD 702 W-AGUAPHOB, 2X SIKAGARD SIL