



# **Loviisan Rosenin ja Svartholman linnoitusten korjauslaastitutkimus**



**TUREIDA  
Thorborg von Konow**

**Kansikuva Johanna Nordman**

Tilaja	Museovirasto, Rho sop. 058/2007, Johanna Nordman
Kohde	Loviisan maalinnoitus ja Svartholma
Tehtävä	Linnoitusten uusien korjauslaastien suunnittelu ja testaus sekä Rosen rauniomuurin vanhojen laastien analyysit

## Sisältö

Tausta ja tutkimuksen tavoitteet	2
Tutkimukset	2
1. Rosen rauniomuurin ”vanhat” laastinäytteet	2
1.1 Vanha muurauslaasti	2
1.2 Aiakisempi korjauslaasti, sementtipitoinen	4
2 Rosenin (ja Svartholman) muurin uudet korjauslaastit	5
2.1 Syvätyttölaasti (pumppauslaasti)	5
2.2 Suojalaasti	5
2.3 Muurauslaasti tiiliholvin muuraukseen	5
2.4 Prismakokeet	6
2.5 Laastioprismojen mirkorakennetutkimukset tehty mikroskoopilla	6
2.6 Prismakokeiden ja mirkorakennetutkimusten tarkastelu	7
Yhteenveto	8
Liitteet	9 - 12

## Tausta ja tutkimuksen tavoitteet

Muuriraunio on paikoitellen sortunut, kiviä pudonnut ja muurin sitova laasti vaurioitunut. Muurit on ainakin 1970-luvulla korjattu sementtilaastilla. Tavoitteena oli löytää nykyistä korjauslaastia vähän heikompaa, joka olisi myös helpommin poistettavissa muutos- tai myöhempien restaurointitöiden yhteydessä. Uusi korjauslaasti tuli myös olla koostumukseltaan lähempänä alkuperäistä kalkkilaastia.

Suomenlinnan puolustusmuurien korjauksissa on noin 10 vuotta käytetty sideaineena hydraulista kalkkia sementin tilalla. Muurien pumppauslaastit ja -tekniikka on paranneltu vuosien varrella ja nykyinen systeemi näyttää toimivan hyvin. Näitä kokemuksia on nyt kokeiltu Rosenin ja Svartholman raunioimuurien korjauksessa.

## Tutkimukset

### 1 Rosen rauniomuurin ”vanhat” laastinäytteet

Johanna Nordman antoi analysoitavaksi kahta laastinäytettä, josta toinen on tiiliholvin vanhaa kalkkilaastia ja toinen sementtipitoista korjauslaastia 1970-luvulta. Näytteistä on tehty ohuthieitä mikroskooppianalyysejä varten. Näytepalat on impregnoitu keltaisella hartsilla ennen hiontaa. Hieen paksuus on 0,02 mm. Hieet on tutkittu polarisaatiomikroskoopilla.

#### 1.1 Vanha muurauslaasti, L-muotoisen kasematin tiiliholvin nurkasta pudonnut pala

Tämä laastipala on varsin erikoinen. Sideainemäärä on hyvin suuri, eli laastissa on noin 3 – 4 kertaa

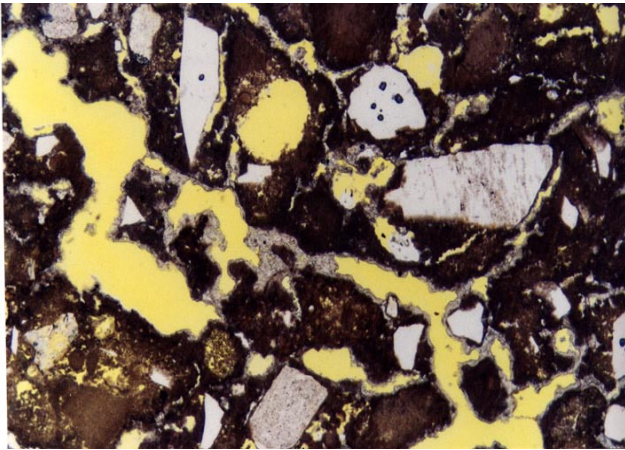
enemmän kalkkia kuin hiekkaa. Laastin mikrorakenne on epähomogeeninen. Se on täynnä halkeamia ja onkaloita, jotka ovat osittain syntyneet jo kuivumisvaiheessa. Laastissa on myös tiiviimpiä osia, ilman halkeamia. Toinen varsin mielenkiintoinen seikka on laastin kaikkiin halkeamiin ja huokosiin uudelleen kiteytyntä kalkkia. Osa halkeamista on kasvanut umpeen.

Sideainekalkissa on runsaasti kalkkipaakkuja. Sideaineessa on myös jonkin verran hydraulista ainetta, joka ei ole kiteytyntä. Kalkin polton yhteydessä on sideaineeseen voinut tulla epäpuhtauksia, jotka toimivat hydraulisesti.

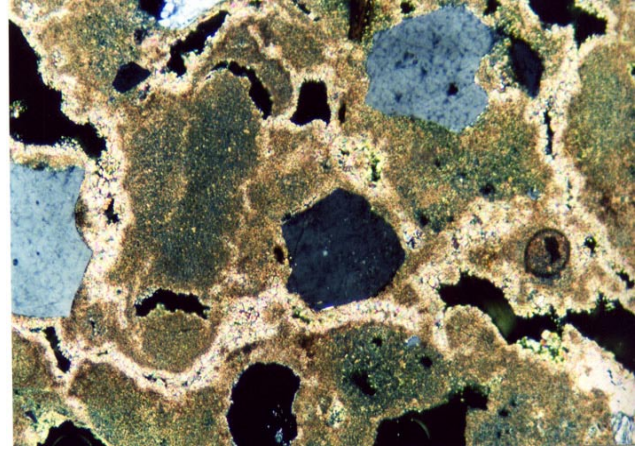
Laastin runkoaine on tavallista mäkihiekkää ja joukossa on sekä pyöristynyttä että särmikästä kivi-  
raetta. Runkoaineen maksimi raekoko on 3 mm ja minimi noin 0,02 mm, suurin osa hiekkarakeista on 0,3 – 0,5 mm.

Laastin koostumus vastaa noin KKh 80/20/60 (kalkkia, hydraulista ainesta, hiekkaa 1 : 0,2 : 0,3 tilavuusosina).

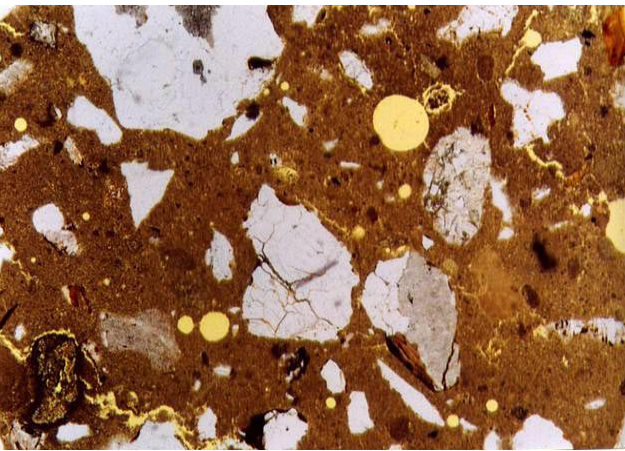
En usko, että tämä laastipala edustaa koko tiilimuurin muurauslaastia. Näin heikolla laastilla tiiliholvi ei olisi vuosisatoja pysynyt pystyssä.



*Rosen tiiliholvin vanha kalkkilaasti, jossa on monta halkeamaa ja huokosta (keltaisia), paljon sideainetta (ruskeaa) ja vähän runkoainetta (vaaleita rakeita). Suurenus 4x nikolit II. Kuva vastaa noin 7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*



*Vanhan kalkkilaastin halkeamiin uudelleen kiteytyntä kalkkasideainetta, kuvassa vaaleana. Sideaine on vihertävänkruunuskeaa, runkoaines sinertävää ja huokokset mustia. Suurenus 10x nikolit X. Kuva vastaa noin 1,2 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*

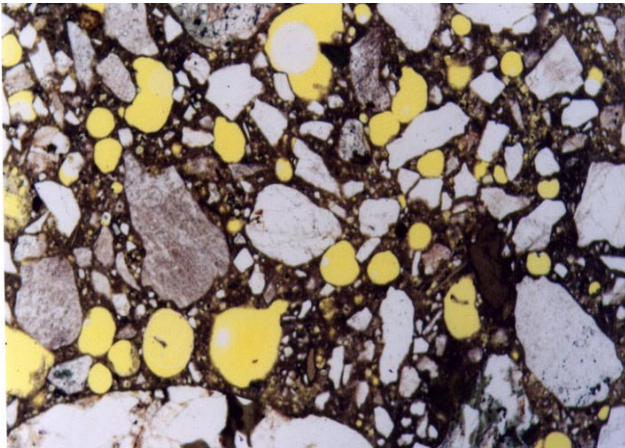


*Näyte on Ulvilan kirkon ulkomuurista, esimerkkinä toisesta keskiaikaisesta kalkkilaastista, joka on hyvin sideainerikas, eli lihava. Laastissa on vain muutama huokonen, ja minimaaliset halkeamat (keltaisia). Runkoainerakeet ovat vaaleita. Suurenus 4x nikolit II. Kuva vastaa noin 7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*

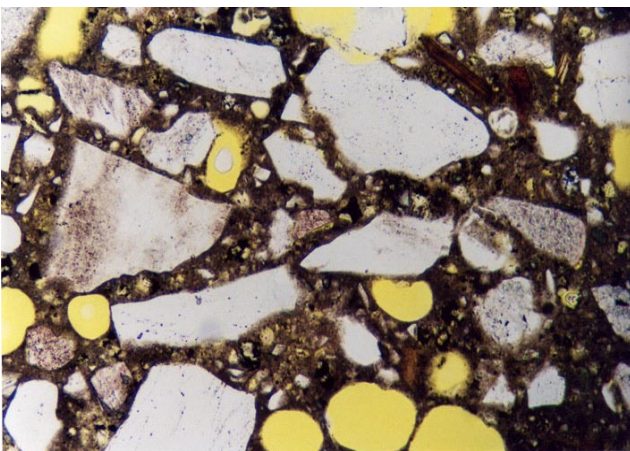
## 1.2 Aikaisempi korjauslaasti, sementtipitoinen, otettu luonnonkivimuurista

Korjauslaasti 1970-luvulta on huokoistettu sementtilaasti, joka on homogeeninen ja sideaineen mikrorakenne on tiivistä. Ilmahuokosia on runsaasti ja suurin osa on  $\varnothing 0,1 - 0,3$  mm, sekä muutama onkalo  $> 0,7$  mm. Sideaineessa ei ole halkeamia, eli laastilla on ollut hyvät kovettumisolosuhteet. Sementtiklinkkerirakeet ovat pitkälle hydratoituneet (klinkkerin reaktio veden kanssa, hydratoituminen, on hidas prosessi) ja laasti on kokonaan karbonatisoitunut. Runkoaine on mäkihiekkaa, jonka maksimi raekoko on 5 mm ja minimi on alle 0,01 mm. Runkoaineen joukossa ei ole kalkkikiveä, joten kyseessä ei ole Parmulaastia (jossa osa runkoaineesta on kalkkikivirouhetta). Laastin koostumus vastaa noin S 100/500.

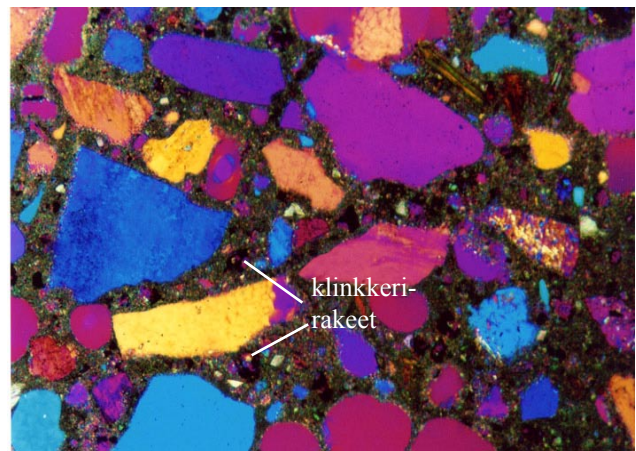
Tämä korjauslaasti on erittäin hyvää ja kestävä sementtilaastia. Laastissa on paljon ilmahuokosia, mutta sementtiseideaine on tiivistä eikä laasti imee tai läpäise kovinkaan paljon vettä. Tällainen korjauslaasti muodostaa muuriin tiiviin kerroksen. Muuriin sisään joutunut vesi ei helpolla pääse ulos, jos tätä sementtipitoista korjauslaastia on paljon ja täyttää muurin aukkoja. Pistemäisenä täyttölaastina, eli tekokivenä, tämä laasti olisi erinomainen.



*Rosenin raunion 1970-luvun korjauslaastia, sementtilaastia. Laasti on tasalaatuinen ja aika runsaasti huokoistettu (keltaiset pallot). Runkoaines on vaaleaa ja sementtinen sideaine tummanruskeaa  
Suurennus 4x nikolit II. Kuva vastaa noin 7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*



*1970-luvun korjauslaasti. Suurempi suurennus. Sideaineessa ei ole halkeamia. Runkoaines on vaaleaa, sementtinen sideaine tummanruskeaa ja huokokset keltaisia.  
Suurennus 10x nikolit II. Kuva vastaa noin 1,2 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*



*Sama kuva kuin viereinen, mutta eri suodattimilla kuvattu. Klinkkerirakeet ovat selvemmin nähtävissä sideaineessa, värikkäinä täplinä. Runkoaines on moniväristä ja huokokset lilanvärisiä.  
Suurennus 10x nikolit X+λ. Kuva vastaa noin 1,2 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*

## **2 Rosenin (ja Svartholman) muurin uudet korjauslaasti**

### **2.1 Syvätyttölaasti (pumppauslaasti)**

Kesällä 2007 käytettiin luonnonkivimuurien syvätyttöön laastia, jossa on hydraulista kalkkia sementtilätilalla.

Laastin kostumus: KKh 15/85/550 (tilavuusosina 1 : 4,3 : 14)

#### Laastin sideaineet

Hydraulinen kalkki on St. Astierin luonnollista hydraulista kalkkia NHL5. Numero 5 NHL:n perässä viittaa laastin tavoitepuristuslujuuteen 1 kk:n ikäisenä. (Hydraulisen kalkin pohjoismainen maahantuojana on Tanskassa Nordisk NHL, [www.nordisknhl.dk](http://www.nordisknhl.dk).) Laastin toinen sideaine on kuivakalkkia (Nordkalkin kalkkihydraattia SL 90T), joka annetaan muhia sekoitettuna veteen vähintään kuukauden ennen käyttöä.

#### Laastin runkoaineet

Laastin runkoaine on Tervakosken karkea hiekka, jolla on erittäin hyvä runkoaineraekajakauma. Hiekka on seulottu 6 mm seulalla, joten maksimi runkoaine on 6 mm. Optimaalista suhteutusta saadaan lisäämällä laastiin pieni määrä kvartsifillieriä.

### **2.2 Suojalaasti**

Laastin koostumus: Kh 100/200 ((tilavuusosina 1 : 1)

Kivimuurin harjat ja ampuma-aukkojen alaosat peitetään ”suojalaastilla”. Tämän laastin sideaineena on vain hydraulista kalkkia NHL5 ja runkoaineena on Tervakosken karkeaa hiekka ja vielä toista hiekkalajiketta raekooltaan 6 – 10 mm. Myös tähän laastiin lisättiin kvartsifillieriä.

### **2.3 Muurauslaasti tiiliholvin muuraukseen**

Koska tiiliholvin alkuperäinen laasti oli kalkkilaastia, muurin korjauslaastiksi suunnittelin kalkkilaastia vahvistettu hydraulisella kalkilla. Tämä on vähän vahvempi kuin puhdas kalkkilaasti, jotta se kestäisi muuriin kohdistuvat kovat sääolosuhteet. Hydraulista kalkkia on kuitenkin niin vähän, että laasti koostumukseltaan hyvin vastaa vanhaa kalkkilaastia jossa on hydraulisuutta. Runkoaineen optimaalinen suhteutus antaa laastille lisää kestävyyttä.

Laastin koostumus: KKh 70/30/630 (tilavuusosina 3 : 1 : 10,5)

Laastin sideaineet ovat samoja kuin syvätyttölaastissa.

Runkoaine koostuu Tervakosken karkeasta ja hienosta hiekasta. Näillä hiekoilla on erilaiset raekajakaumat. Molemmat hiekat seulotaan 4 mm seulalla. Hiekkaan lisätään pieni määrä kvartsifillieriä.

Tiiliholvin korjauksia ei tänä kesänä ehditty käynnistää, joten uuden muurauslaastin toimivuutta Rosenin tiiliholvissa ei vielä ole pystytty selvittämään.

## 2.4 Prismakokeet

Rosenin työmaalla valmistettiin prismat syvätäyttö- ja suojalaastista. Henri Mannari, Rakennuskorjaus Maki Oy:sta, oli tähän tarkoitukseen teettänyt hienot metalliset prismamuotit. Jokaisesta laastista tehtiin 7 prismaa annettujen ohjeiden mukaan (ks liite). Syvätäyttölaastiprismat olivat Henrin mukaan ensimmäiset päivät jääneet vailla jälkikostutusta. Kostuttaminen alettiin noin 4. päivänä valusta.

Prismojen puristus- ja taivutusvetolujuudet testataan 1½, 3 ja 12 kk:n ikäisenä VTT:llä testaus- ja tarkastuslaboratoriossa. 1½ ja 3 kk:n koetuloksia on saatu.

Taulukko 1 Prismojen lujuusarvot, kahden prisman keskiarvot

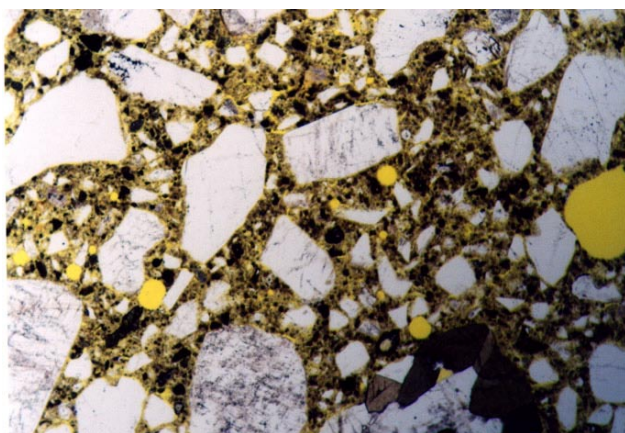
Laasti	prisman ikä kk	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Taivutuslujuus MPa	Puristuslujuus MPa
2.1 syvätäyttö	1½	1890	0,61	2,17
2.1 syvätäyttö	3	1930	0,61	2,4
2.2 suojalaasti	1½	1920	1,58	4,76
2.2 suojalaasti	3	1920	1,78	5,18
vertailu KS 50/50	1			6 – 8 (taulukko-arvo)

## 2.5 Laastiprismojen mikrorakennetutkimukset tehty mikroskoopilla

Laastien 7.stä prismasta tehtiin ohuthiet. Nämä tutkin polarisaatiomikroskoopilla.

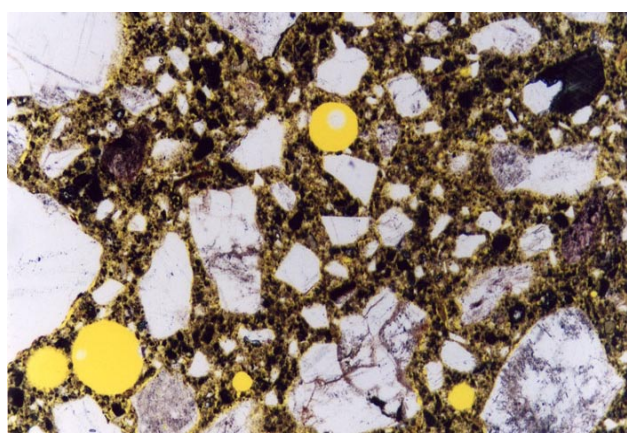
Syvätäyttölaasti (2.1) on homogeeninen ja suhteellisen hyvin tiivistynyt. Siinä on useita pyöreitä ilmahuokosia Ø 0,1 – 0,3 mm ja noin 10 kpl suurempaa onkaloa Ø 0,5 – 1 mm. Sideaineessa on paljon mikrohalkeilua, joka on puutteellisesta alkukostutuksesta johtuvaa kuivumishalkeilua. Syvätäyttölaasti oli 5 viikkoa vanha kun se lähetettiin ohuthievalmistukseen.

Suojalaasti (2.2) on hyvin homogeeninen ja sillä on erittäin hyvä mikrorakenne. Huokokset ovat pieniä Ø 0,1 – 0,3 mm ja 3 kpl ovat > 0,5 mm. Paikoitellen laasti on ilman huokosia. Sideaineessa ei ole kuin jokunen mikrohalkeama. Syvätäyttölaasti oli 7 viikkoa vanha kun se lähetettiin ohuthievalmistukseen.



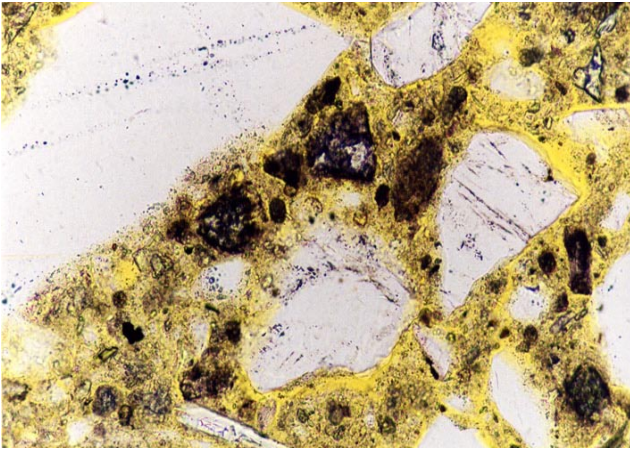
*Koeprisma: syvätäyttölaasti KKh 15/85/550. Laastissa on pieniä huokosia (keltaisia). Sideaineessa on mikrohalkeamia. Runkoaine on vaaleaa.*

*Suurennus 4x nikolit II. Kuva vastaa noin 7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*

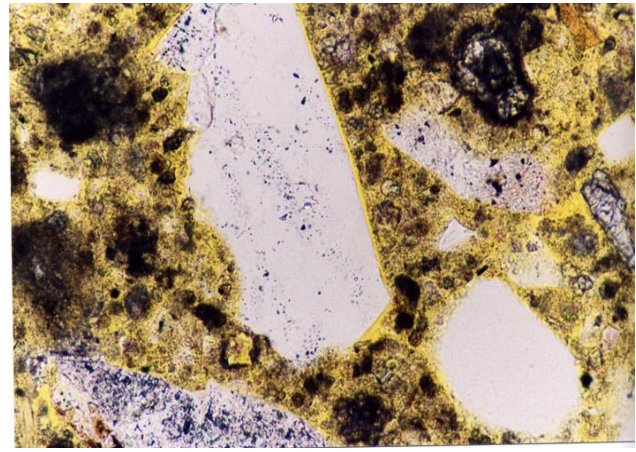


*Koeprisma: peitelaasti Kh 100/200. Laastissa on kauttaaltaan jonkun verran pienempiä huokosia (keltaisia) kuin syvätäyttölaastissa. Sideaineessa ei ole mikrohalkeamia. Runkoaine on vaaleaa.*

*Suurennus 4x nikolit II. Kuva vastaa noin 7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*



*Koeprisma: Sytättyölaasti. Hydrauliset rakeet näkyvät tummina rakeina ruskeassa sideaineessa. Rakeen halkaisija on noin 0,07 mm. Runkoainerakeet ovat vaaleat. Suurenus 20x nikolit II. Kuva vastaa noin 0,7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*



*Koeprisma: Peitelaasti. Hydrauliset rakeet näkyvät tummina rakeina ruskeassa sideaineessa. Tämän laastin sideaine on tiiviimpää kuin sytättyölaastin. Suurenus 20x nikolit II. Kuva vastaa noin 0,7 mm<sup>2</sup> näytteen pinnasta.*

## 2.6 Prismakokeiden ja mikrorakennetutkimusten tarkastelu

Sytättyölaastin lujuudenkehitys on ollut aika heikko. Lujuudet ovat lähes samat 3 kk:n kuin 1½ kk:n ikäisenä. Suurin syy tähän on laastissa olevat mikrohalkeamat, eli prisman kutistumishalkeamat, jotka heikentävät lujuutta. Ilmakalkki ja hydraulinen kalkki tarvitsevat pitkän kovettumisajan, toisin kuin sementti. 12 kk:n ikäisten prismojen lujuus pitäisi olla selvästi korkeampi. Hydraulisen kalkkilaastin sideaineen tiiviys jää myös täysin kovettuneena kaukana sementtilaastin tiiviydystä.

Suojalaastiprisman mikrorakenne, tutkittu mikroskoopilla, on varsin hyvä. Mielenkiintoista on että laasti on hyvin lihava (Kh 100/200), eikä se ole saanut kuivumisvaiheessa kutistumishalkeamia! Tämän laastin lujuudenkehitys on kasvamassa päin. Se on saavuttanut EU-normin puristuslujuuden NHL5 laastille, joka on 5 – 15 MPa. Suojalaastia on myös käytetty Suomenlinnassa vuonna 2006, erään kivimuurin harjanteen päällä, jossa laasti selvisi täysin ilman kutistumishalkeilua, myös paksuina kerroksina.

Tarkempi kuin lujuus on laastien pakkasenkestävyys. Laastien pakkasenkestävyyttä selvitetään nyt käytännön kokein Rosenin ja Svartholman linnoituksen rauniomuureissa.

Laastien toimivuus, tiedot annettu työmaalla

Pumppaus sytättyölaastilla oli ollut helppoa. Saumat oli saatu hyvin puhdistettu. Suojalaastin kanssa ei myöskään ollut ongelmia.

Laastien lopullinen mikrorakenne riippuu hyvin paljon muurarin taidosta sekä sekoittaa laastia että käyttää sitä, ilmasto-olosuhteesta muuraisvaiheessa ja laastien jälkikostuttamisesta. Jos nämä asiat ovat kunnossa, tulee myös laastin mikrorakenne ja sen mukaan kestävyys olemaan paras mahdollinen.

## Yhteenveto

Rosenin ja Svartholman maalinnoitusten korjauslaastiprojektia on tehty suunnitelmien mukaisesti, mutta tiiliholvin muurausta ei tehty kesällä 2007. Rosenin vanha kalkkilaasti ja 1970-luvun korjauslaasti on tutkittu mikroskoopilla. Vanhassa kalkkilaastissa, jossa on hydraulisuutta, on varsin paljon halkeamia. Itse sideaine on melko tiivistä, mutta halkeamien takia laastiin imeytyy paljon vettä. Tämä vanha alkuperäinen(?) laasti on hyvin lihava. Sementtikorjauslaastin mikrorakenne on erittäin hyvä. Laasti on hyvin huokoistettu, mutta sen sideaine muodostaa tiiviin massan.

Sekä syvätäyttölaastia että suojalaastia on sekoitettu reseptien mukaisesti työmaalla ja käytetty muurien korjauksissa. Laasteista on valmistettu prismoja lujuusmäärityksiä ja ohuthietutkimuksia varten. Syvätäyttölaastin koeprismat eivät täysin onnistuneet, koska ne olivat alussa liian kuivina. Mikrorakenne, tutkittu ohuthieestä, ja puristuslujuus on syvätäyttölaastilla aika heikko ja suojalaastilla hyvä. Vuoden ikäisten koeprismojen lujuudet saadaan lokakuussa 2008.

Helsingissä 31.1.2008

Tureida

Thorborg von Konow, FT  
tutkija ja konsultti

Liitteet

Ohjeet: Laastiprismojen valmistus ja jälkihoito  
Uudet korjauslaastireseptit