

Sammanfattning av avhandling för avläggande av filosofie licentiatexamen i miljövetenskap:

CONSERVATION OF GOTLAND SANDSTONE  
OVERVIEW OF PRESENT SITUATION  
AND EVALUATION OF METHODS APPLIED

Malin Myrin

Examinator: Professor Oliver Lindqvist  
Granskare: Fil. dr. Runo Löfvendahl, Riksantikvarieämbetet  
Handledare: Professor Jan Rosvall  
Extern handledare: Dr. Daniel Kwiatkowski



Miljövetenskap  
Göteborgs Universitet

## **1. Inledning**

På södra Gotland har man sedan medeltiden brutit sandsten. Den har i stor utsträckning exporterats till områden runt hela Östersjön. Stenen är porös och tämligen homogen, vilket gör den lätt att forma och arbeta med. Detta har gjort stenen till ett omtyckt byggnadsmaterial i konstruktioner, ornament och skulpturer. I de nordiska och baltiska länderna är gotländsk sandsten det mest använda byggnadsmaterialet i kulturhistoriskt viktiga byggnader. Gotländsk sandsten behöll sin popularitet in på 1900-talet och bryts än idag.

Gotländsk sandsten klassas som en av de mest vittringsbenägna stensorterna. Senare tids allt hårdare miljöbelastning, främst genom ökade utsläpp och ökad koncentration av svavel- och kväveföreningar, bidrar till att stenens naturliga vittringsprocesser sker i ett snabbare tempo. Inventeringar, som utförts av Riksantikvarieämbetet (RAÄ), visar att gotländsk sandsten är den som byggnadsmaterial använda stensorten som uppvisar flest och svårast skador orsakade av antropogen nedbrytning.

Stenens nedbrytning följer naturliga processer orsakade av klimat- och biosfärfaktorer. Vittring är ett steg i stenens åldrande och går inte att förhindra men kan bromsas med hjälp av avancerade konserveringsmetoder. Lämpliga, i tid insatta och regelbundet återkommande, konserveringsåtgärder hämmar stenens nedbrytning och objektet kan därigenom bevaras under en förlängd tidsperiod.

## **2. Projektets bakgrund**

Företagsforskarskolan för Naturliga material med inriktning mot Miljö- och Kulturvård (NMK) har som övergripande målsättning att utveckla och förbättra program för kulturvård genom ett ökat utbyte mellan naturvetenskapliga och humanistiska discipliner. Skolan inriktar sig på studier av material och processer för att tillgodose dagens restaureringsbehov och för att underlätta framtida bevarandeåtgärder. NMK har även som målsättning att bidra till skapandet av normer för dokumentations- och analysförfaranden, lämpliga för den kulturvårdande processen.

Stenkonservatorn, ett företag inom Skanska-koncernen, har under ledning av Marie Klingspor Rotstein och Daniel Kwiatkowski under 20 års tid utarbetat och tillämpat åtgärdsprogram och tagit fram material för stenkonsivering. Arbetsområdet omfattar i huvudsak objekt som konserveras in-situ (på plats), ibland inomhus men till övervägande del utomhus. Under de senaste åren har Stenkonservatorn fått uppdrag rörande konservering och renovering av större objekt, där hela byggnadsfasader och helhetsmiljöer ingår.

Forskningsprojektet sker i samarbete med Stenkonservatorn och NMK.

## **3. Projektets målsättningar**

Den övergripande målsättningen för forskningsprojektet har varit att förstå och kartlägga de processer som påverkar nedbrytningen av gotländsk sandsten i nordiskt utomhusklimat och effekterna av olika konserveringsåtgärder samt utvalda materials beständighet och skyddande förmåga.

I Sverige saknas i stor utsträckning ännu regler och vedertagna normer för stenkonsivering. Dessutom saknas dokumentation och vetenskapligt grundad verifiering av konserveringsmetoder och konserveringsmaterial. Detta bidrar troligen till att myndigheter och fastighetsägare idag ofta är tvekanande ikonserveringsfrågor. Detta forskningsprojekt syftar ytterst till att avhjälpa eller reducera nämnda brister.

#### **4. Gotländsk sandsten, karaktäristika och skadebild**

Sandsten tillhör de sedimentära, klastiska bergarterna och har bildats genom avlagring av transporterat, vittrat stenmaterial. Den gotländska sandstenen består huvudsakligen av mineralerna kvarts och feltspat men innehåller även mindre mängder kalcit (kalkspat) och muskovit (ljus glimmer), vilka alla är ljusa till färgen, samt lermineral och järnavlagringar. Stenens korn har varierande storlek mellan 0,06 och 2,00 mm. Färgen är neutralt ljusgrå med en svagt grönaktig nyans. Den gröna tonen beror på stenens innehåll av lermineralet glaukonit. Stensorten har ett blandat bindemedel bestående av kalciumkarbonat i amorf (gel) form, lermineral och kisel. Förhållandet mellan beståndsdelarna varierar något, även i stenar från samma stenbrott. Stenens sammansättning och uppbyggnad av fina korn gör den mjuk, otät och porös och därför lätt att forma men samtidigt mycket vittringsbenägen. Den gotländska sandstenen har en porositet på mellan 5-20 % i förhållande till dess totala volym, vilket ger den en hög vätskeupptagningsförmåga.

Stenens bindemedel är svagt och har låg motståndskraft mot fysikaliska och kemiska nedbrytningsfaktorer, också i en ”ren” miljö. Stenen förstörs lätt genom salt- och frostkristallisation. Nedbrytning sker också genom att lermineralier i stenen sväller och därigenom orsakar spänningar och sprängning samt genom att kalcit i närvaro av sulfat omvandlas och bildar gips. På stenytor utsatta för regn sköljs gipset bort och orsakar sandning. På regnskyddade ytor formar gipset en krusta som med tiden mörknar p.g.a. sotpartiklar och dylikt som fastnar på ytan.

Nedbrytningsprocessen accelereras genom sura miljöföroreningar. Kalcit och lermineral attackeras snabbt av svavelsyra, som tillförs stenen via surt nedfall. Skulpturer och ornament, som utsätts för mycket regnvatten, är ofta kraftigt vittrade även på djupet p.g.a. stenens mycket höga absorptionsförmåga. Upplösningen av stenens bindemedel gör den än mer porös, s.k. sekundär porositet, vilket i sin tur leder till att stenens absorptionsförmåga tilltar i de redan skadade delarna. Detta ökar samtliga skadliga influensers inverkan och accelererar nedbrytningen.

Den kemiska och fysikaliska upplösningen av stenens bindemedel försvagar stenens yta och leder slutligen till total destruktions av ytskiktet. Nedbrytningen av gotländsk sandsten visar sig i form av intensiv sandning/pulverisering och exfoliation (bild 1 och 2). Andra typiska skador är sprickor, som orsakas av sättningar i byggnaden samt rostande järnföremål, ex. spikar, och mikrosprickor samt svart krusta (bild 1 och 2).

#### **Konservering av gotländsk sandsten**

De vanligaste konserveringsåtgärderna och arbetsmomenten gällande Gotländsk sandsten är:

- Pre-konsolidering, görs om det visar sig nödvändigt att säkra särskilt utsatta delar av objektet före rengöring.
- Limning och säkring av utsatta delar, görs likaså för att säkra utsatta delar av objektet.
- Rengöring, görs vanligtvis med vattentvätt. Krustor rengörs med hjälp av lerinpackning, ev. med kemikaliska tillsatser. Om salthalten visar sig vara hög görs även en avsättning.
- Konsolidering, stenen behandlas med konsolideringsprodukt. Objektet kan behandlas upp till tre gånger, vanligtvis är två behandlingar tillräckligt.
- Lagning och dubbnig, sprickor och andra skador tätas, lösa bitar dubbas och fästes med hjälp av lagningsbruk. Ibland görs rekonstruktioner av förlorade delar.
- Hydrofobiering, avslutningsvis är det möjligt att hydrofobera stenen. Detta är en sällan föreskriven behandling, konservatorer i Sverige är restriktiva med att utföra en hydrofobierande behandling.

Obligatorisk dokumentation av objektet före, under och efter konservering är en viktig del av konserveringsprogrammet, normalt även sammanställning av en konserveringsrapport.



*Bild nr. 1. Sandning och exfolieringsskador observerade på Stockholms slott.*



*Bild nr. 2. Sandning på ytor utsatta för regn, svart krusta på regnskyddade ytor samt mikrosprickor. Detalj av stengirlang på Riddarhuset.*

## **5. Evaluering av valda objekt**

Med målsättningen att identifiera förbättringsmöjligheter har projektet dokumenterat och utvärderat det konserveringsprogram för gotländsk sandsten som Stenkonserveratorn tillämpat sedan början på 80-talet.

Inledningsvis gicks samtliga av stenkonservatorn konserverade objekt gällande gotländsk sandsten igenom. Av det materialet valdes 10 lämpliga objekt ut för detaljerad utvärdering.

I studien ingår endast objekt konserverade av Stenkonservatorn. Denna avgränsning har gjorts av flera skäl: (1) Stenkonservatorns konsekventa tillvägagångssätt enligt upprättade program; (2) Tillgång till ett utförligt och systematiskt dokumentationsmaterial; (3) Möjlighet att intervjua personer som varit ansvariga och inblandade i konserveringsprojekten.

Efter en första evaluering av objekten och problemen som uppstått under konserveringsarbetet och därefter, ringades fyra huvudfrågor in som nödvändiga och även möjliga att studera vidare. Dessa frågor är:

- Konsolidering, frågor om metoder och material samt behandlingens hållbarhet
- Lagningsbruk, frågor om metoder och material samt behandlingens hållbarhet
- Hydrofobiering
- Planering av omvårdnadsplan för objekten efter avslutad konservering

Licentiatuppsatsen bygger främst på studier gällande de första två punkterna; konsolidering och lagningsbruk. Resterande två punkter kommer att ingå i den planerade doktorsavhandlingen. De valda två frågeställningarna har utgjort grunden för labbstudier och för uppbyggnad av fältstationer.

Nio av objekten som valts för evaluering finns i Stockholm och ett finns utanför stadsmiljö, det är Vadsbro kyrka i Södermanland. Objekten är mest portaler, andra fasadutsmyckningar och skulpturer från 1600-talet och fram till slutet av 1800-talet. De har valts för att illustrera vanligt förekommande konserveringsproblem och lösningar. Men också för att illustrera specifika konserveringsproblem, som har förekommit enstaka gånger och krävt specifika lösningar.

De utvalda objekten har dokumenterats i detalj och hålls fortfarande under kontinuerlig uppsikt genom att fotograferas och beskrivas i skrift minst fyra gånger om året. Detta nya material har sammanförts med sammanställning av tillgänglig dokumentation insamlad före konservering och direkt efter konservering, så som fotografier, konserveringsprogram och konserveringsrapporter.

## **6. Fältstationer**

Under våren 2002 har två fältstationer färdigställts med två identiska uppsättningar prover. Dessa stationer är placerade på Riksdagshusets tak, tätortsmiljö mitt i Stockholm, och vid Vadsbro kyrka i Södermanland, utanför tätortsmiljö.

Varje serie utsätts för fyra olika miljöer, stadsmiljö, med och utan skydd för regn och snö, samt lantlig miljö med och utan regnskydd.

På stationerna finns följande serier utplacerade:

- Serie för studier av lagningsbruk, gällande hållbarhet, vidhäftning och brukets åldrande samt hur mängden akrylat, som används när man blandar bruket, påverkar lagningsbrukets färg och vidhäftning.
- Serie för studier av hydrofobiering. En jämförelse mellan olika hydrofobierande produkter görs, även här är det behandlingens hållbarhet som studeras.
- Serie för studier av kombinationen hydrofobiering och lagningsbruk. Hållbarhet, vidhäftning, färgförändringar och brukets åldrande studeras.

Vid tillverkning av prover för fältstationer och för labbtester har målsättningen varit att så långt möjligt efterlikna situationen och arbetsmetoderna som gäller ute på faktiska konserveringsjobb, gällande temperatur, luftfuktighet, väntetider etc.

### **Preliminära observationer från fältstationerna**

Det är svårt att redan nu efter knappt två år dra några slutsatser från observationer vid fältstationerna. Proverna kommer att samlas in enl. plan sommaren 2005 för utvärdering och tester. En viktig faktor har dock observerats på redan nu som verifierar nuvarande arbetsmetoder gällande lagning av sten.

Man lagar stenen med ganska torrt lagningsbruket och modellerar formen grovt. När bruket sedan är nästan torrt skrapas lagningen med ett filblad eller skrapa, därvid får man fram den slutgiltiga formen. Lagningen skrapas för att ta bort den tunna film, eller hinna, som bildas på ytan när bruket torkar. Den skrapade ytan överensstämmer väl med utseendet och egenskaperna hos originalstenen. På proverna för fältstationerna skrapades bra halva ytan av proven, den andra hälften lämnades med hinnan kvar. Redan hösten 2003 syntes tydligt att de oskrapade delarna hade ljusnat kraftigt i färg medan de skrapade fortfarande överensstämmer med originalstenen gällande färg och ytstruktur.

### **7. Labbstudie gällande kombinationen av lagningsbruk och konsolideringsprodukter**

Studiens målsättning var att studera effekterna av att tillsammans med stenen också lagningar blir behandlade med konsolidering. Denna metod kan användas i projekt där det visar sig nödvändigt med två konsolideringar. Ifyllnad av sprickor och andra tekniska lagningar på stenen kan utföras före den andra, upprepande konsolideringen och spar tid på arbetsplatsen jämfört med lagning först efter den andra konsolideringen. Tester gjordes för att fastställa hur lagningsbruk med olika mängd akrylat reagerar med konsolideringsprodukter.

Resultatet av undersökningen redovisas i tabell nr. 1. Wacker OH-100 är den konsolideringsprodukt som nu finns på marknaden. Den innehåller inga lösningsmedel, dess andel kiselsyraester är enl. produktfaktablad nära 100 %. Wacker OH är en äldre produkt och innehåller ca. 25 % lösningsmedel. Testerna utfördes på kuber (5x5x5 cm), skivor (5x5x1cm), mycket tunna skivor (slices) samt på stenar med små tekniska lagningar (Consolidated, Repaired stone). Bruket blandades med 5 % och med 10 % akrylat. Proverna låg i konsolidering i sex timmar. Under den tiden observerades och dokumenterades resultaten. Proverna tilläts sedan torka varpå resultaten observerades och beskrevs.

### **Resultat**

Genomgående är att de prover som tillverkats med 5 % akrylat och behandlats med konsolideringsprodukten utan lösningsmedel, Wacker OH-100, har visat mycket bra resultat. Resultaten visar ett tydligt samband mellan halten akrylat i lagningen och konsolideringsprodukten. Kombinationen 5 % akrylat och Wacker OH-100 ger genomgående goda resultat. Andra kombinationer gav endast i vissa fall tillfredställande resultat, nämligen när lagningarna är tunna och därigenom innehåller liten absolut mängd av akrylat.

Det man främst vinner med denna metod är att också lagningar bli konsoliderade vid den andra behandlingen. Lagningen får genom detta egenskaper som mer överensstämmer med stenens egenskaper och lagningen blir mindre skör. Man kan förenklat säga att konsolideringen fungerar som ett bindemedel i bruket. Det i sin tur innebär att man kan blanda ett bruk med en mindre andel hydrauliskt kalk och ändå få hållbara lagningar samt att man kan och måste använda mindre mängd akrylat. Att använda en lägre mängd akrylat är önskvärt eftersom det har observerats i evalueringsarbetet att akrylat kan påverka lagningar negativt på olika sätt, ex. medföra färgförändringar. Dessutom vinner man mycket tid med den beskrivna arbetsmetoden eftersom man

kan lämna arbetsplatsen efter den andra konsolideringen då övriga arbetsmoment redan är avklarade.

**Observations during treatment:**

	<b>Acrylate</b>	<b>W OH</b>	<b>W OH-100</b>
5X5X5	5%	Soft	OK
	10%	Soft	Soft
5X5X1	5%	Soft	OK
	10%	Soft	Soft
Slices	5%	Soft	OK
	10%	Soft	Soft
Consolidated, Repaired stone	5%	OK	OK
	10%	OK	OK

**Observations after drying:**

	<b>Acrylate</b>	<b>W OH</b>	<b>W OH-100</b>
5X5X5	5%	Patchy	OK
	10%	Patchy	Patchy
5X5X1	5%	Patchy	OK
	10%	Patchy	Patchy
Slices	5%	OK	OK
	10%	OK	OK
Consolidated, Repaired stone	5%	OK	OK
	10%	OK	OK

*Tabell nr.1. Resultatet bedömdes enligt följande beteckningar:*

*Soft - proverna mjukades upp och fick en nästan svampig konsistens, alltså inte tillfredsställande.*

*Patchy - syftar på att proverna blev flammiga i färgen efter att de torkat, inte heller detta är ett tillfredsställande resultat.*

*OK - tillfredsställande resultat.*

## **8. Studier gällande effekter av konsoliderande behandling**

Studiens syfte var att observera hur stenens egenskaper förändras genom att jämföra nybruten och vittrad sten före behandling, med motsvarande egenskaper efter 1- 3 konsoliderande behandlingar. För tester användes såväl nybruten som gammal vittrad sten. Testerna genomfördes på SP i Borås.

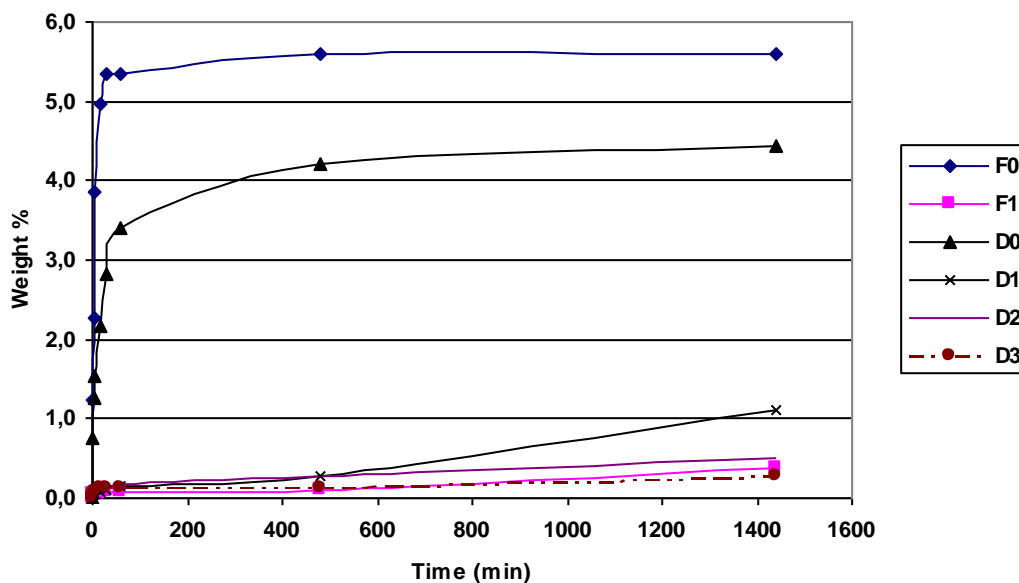
Tester som gjordes var:

- Absorptionstester, kapillärsugning i vatten, mätning av viktökning, EN 1925 enligt rekommenderade testmetoder för sten (European Committee for Standardization).
- Porositetsmätningar, dels mätning av porytans area enl. BET (Brunauer, Emmet Teller), dels mätning av genomsnittlig porstorlek, pordiameter.

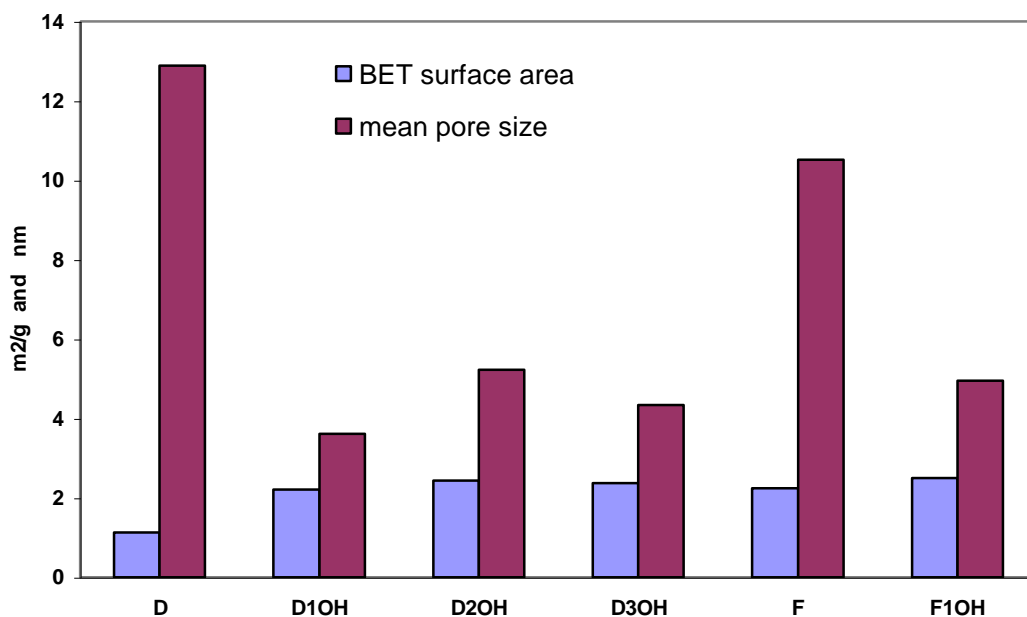
### **Resultat**

Resultaten från absorptionstester redovisas i tabell nr. 2. I tabellen syns tydligt hur absorptionsförmåga förändras, sjunker, efter den första behandlingen, både för nybruten och för vittrad sten. Andra behandlingen ger liten skillnad medan den tredje behandlingen endast ger en marginell skillnad.

För att verifiera absorptionstesterna gjordes också porositetsmätningar, med hjälp av ultrasonic och gassorption. Resultaten från absorptionstester redovisas i tabell nr. 3. Resultaten korrelerar med absorptionstesterna, den genomsnittliga porstorleken minskar, samtidigt som BET, den sammanlagda porytan blir större. Även här är skillnaderna mest markanta efter den första konsoliderande behandlingen.



Tabell nr. 2. Resultat av absorptionstester. Beteckningen (F) nybruten sten (fresh), antalet behandlingar 0-3, (D) vittrad sten (deteriorated).



Tabell nr. 3. Förändring av BET och genomsnittlig porstorlek efter konsoliderande behandling för (F) färsk sten och (D) vittrad sten. Antalet behandlingar 0-3. (OH syftar på Wacker produkten OH-100).

### Övergripande tolkning av resultaten

Skillnaden mellan obehandlad sten och sten efter behandling är ordentlig både gällande nybruten och vittrad sten, i alla tester både absorption och porositet. En andra behandling förbättrade egenskaperna något medan en tredje behandling inte har någon direkt inverkan.



## **9. Projektets fortsättning**

Fortsättningen av projektet är planerat att innehålla följande punkter:

- Studier gällande hydrofobering av sten
- Studier om färgförändringar gälland lagningsbruk
- Slutlig utvärdering av observationer och tester från fältstationer
- Studier gällande planering och upplägg av skötselplan/program av objekt efter avslutad konservering

### **Källor:**

Se licentiatavhandling.