

Stora Sofia

Kontroll och analys av skyddsåtgärd
Slutrapport 2007

Eva Ernfridsson, Inger Nyström Godfrey och Thomas Bergstrand
Västarvet Rapport 2009:1

Stora Sofia

Kontroll och analys av skyddsåtgärd

Slutrapport 2007

Västarvet Rapport 2009:1

ISBN 978-91-7686-250-6

Författare Eva Ernfridsson och Inger Nyström Godfrey, Studio Västsvensk Konservering samt Thomas Bergstrand, Bohusläns museum

Layout, grafisk form och teknisk redigering Gabriella Kalmar

Omslagsbild Foto Marine Monitoring AB. Fotot visar sedimentprofil vid lämningen efter Stora Sofia. Bilden har bearbetats så att det syresatta övre skiktet är gult medan blått visar en reducerande miljö.

Illustration Anders Gutehall

Tryck Grafisk Precision AB, Uddevalla 2009

Kartor ur allmänt kartmaterial, © Lantmäteriverket medgivande 90.8012

Västarvet

Edsvägen 1B

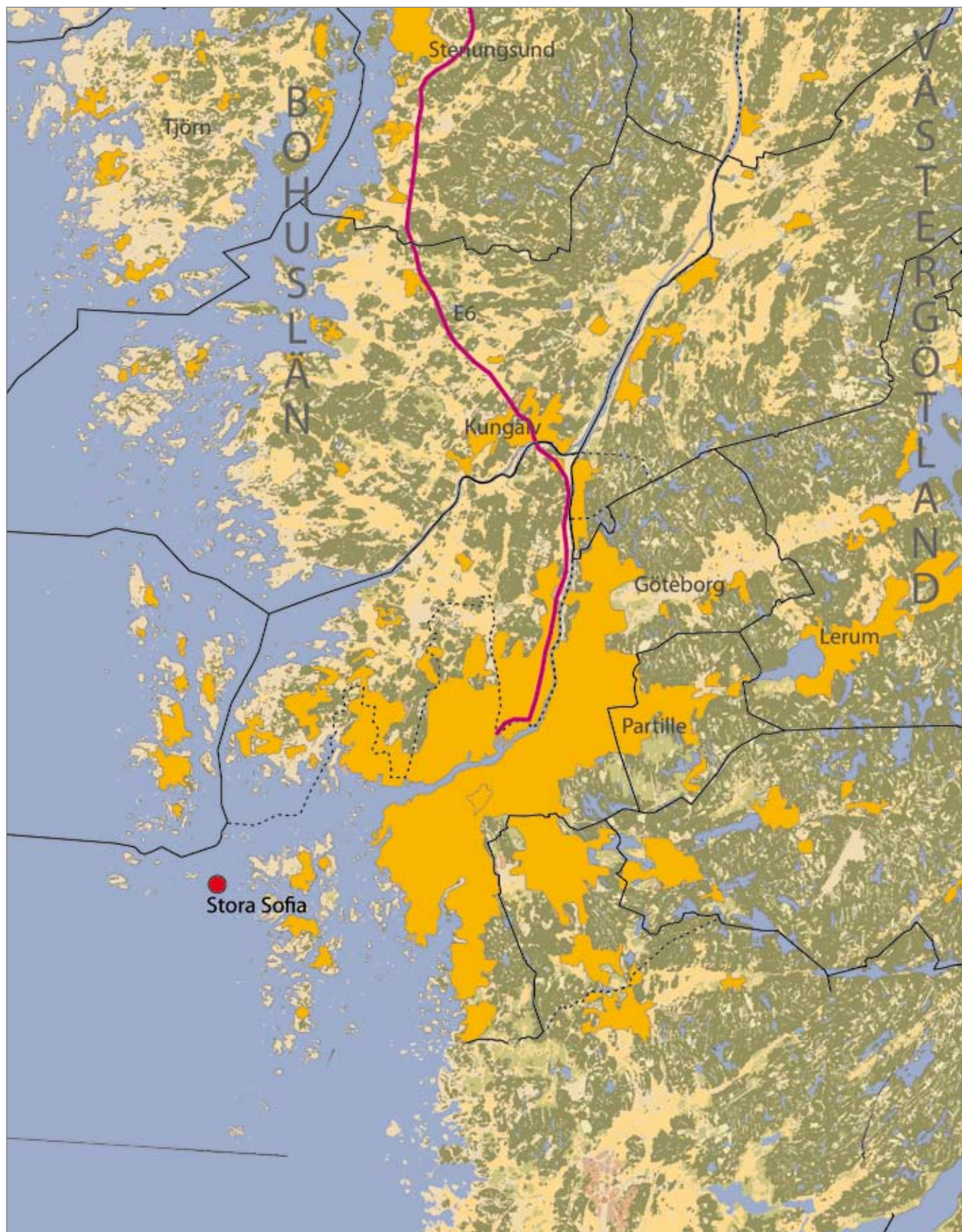
462 35 Vänersborg

tel 0522-656500, fax 0522-656505

www.vastarvet.se

Innehåll

Bakgrund.....	5
Den marina miljön.....	5
Salinitet.....	5
Temperatur.....	6
pH.....	6
Redoxpotential.....	6
Marina träborrhare.....	6
Svamp och bakterier.....	6
In situ-bevarande av Stora Sofia.....	6
Resultat: miljömätning.....	5
Sedimentproppar och SPI.....	6
Datalogger.....	5
Temperatur.....	5
Djup.....	5
Löst syre.....	5
pH.....	5
Redoxpotential.....	5
Resultat: recenta träprover.....	5
Resultat efter två år.....	5
Resultat efter fem år.....	5
Resultat: arkeologiska träprover.....	5
Dendrokronologi.....	5
Nedbrytning.....	5
Resultat av svavelanalys.....	5
Diskussion.....	5
Slutsats.....	5
Fortsatt kontroll.....	5
Källor.....	5
Referenser.....	7
Litteratur.....	7
Otryckta källor.....	7
Tekniska och administrativa uppgifter.....	7
Diagramförteckning.....	8
Figurförteckning.....	8
Tabellförteckning.....	8
Bilagor.....	8

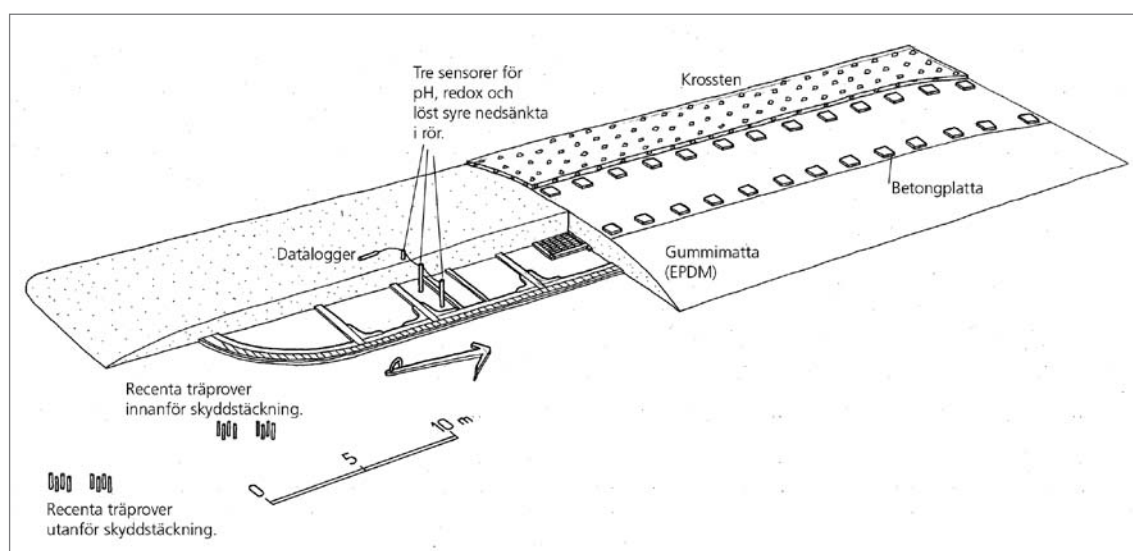


Figur 1. Utsnitt ur GSD-Röda kartan/Fastighetskartan med platsen för undersökningen markerad.

Bakgrund

Bohusläns museum har sedan 2002 utfört åtgärder för att säkerställa *in situ* bevarande av lämningen efter det danska örlogsskeppet Stora Sofia som förläste 1645. Lämningen ligger i en av farlederna in till Göteborgs hamn (figur 1) och skyddsåtgärderna är ett resultat av en konstaterad pågående sedimenterosion och nedbrytning.

Vårdprojektets initiala fas, som genomfördes under 2002, innefattade en förberedande dokumentation, planering och plantering av prover och en därpå följande skyddstäckning med grus, gummimatta och viktsten (figur 2). Den andra fasen innebar tillsyn och utvärdering av övertäckningen och pågick mellan 2002 och 2007 (Bergstrand & von Arbin 2003).



Figur 2. Principskiss av skyddstäckningen av Stora Sofia med dataloggern och träprover utplacerade. Illustration av Anders Gutehall, Bohusläns museum.

Samtidigt med att undersökningen och skyddsåtgärderna för Stora Sofia genomfördes pågick två andra forskningsprojekt med fokus på bevarande av marinarkeologiska lämningar; EU-projektet "Bacpoles" och det svenskfinansierade projektet "Cure the Vasa". Ansvariga för Stora Sofia-projektet kontaktades av dessa projekt och ombads att leverera prover av sediment, vatten och arkeologiskt trä för olika typer av analyser (tabell 1). Dessa prover inhämtades och levererades 2002, dels för att bistå dessa projekt, dels för att få en ökad mängd information om Stora Sofia och om den miljö där lämningen ligger.

Föreliggande slutrapport beskriver de åtgärder som utförts till och med 2007, det vill säga projektets andra fas, och redovisar resultaten av olika analyser (tabell 1). Arbetet följer i stort den plan som upprättades 2002 av Inger Nyström på Studio Västsvensk Konservering (Nyström 2002).

Typ av analys	2002	2004	2005	2007	Ansvarig	Kommentar
Miljömätning, sedimentproppar + SPI	Prov taget i juni Rapport: oktober				Kristineberg, Marine monitoring	
Miljömätning, datalogger	juni -september	maj-augusti	juni-september		SVK + Nationalmuseet Danmark	Användbara mätdata endast 2004
Träprover, recenta	2 x 15 testpar nedsatta i juni	prov taget i augusti	Inga prov p. g. a. dykproblem	Prov taget i oktober	SVK + SLU	
Träprover, arkeologiska mikroskopiska och fysikalisk analys	Prov taget i juni		Rapport		Bacpoles	
Träprover, arkeologiska dendrokronologi	Samma prover som ovan använda		Rapport		Bacpoles	
Träprover, arkeologiska trækemi	Prov taget i juni		Rapport		Bacpoles	Inga resultat redovisade i rapporten
Träprover, arkeologiska trækemi, svavel	Prov taget i juni		Underhands-information		Stockholms Universitet	
Sediment, svavel	Prov taget i juni		Underhands-information		Stockholms Universitet	
Sediment	Prov taget i juni		Rapport		Bacpoles	Inga resultat redovisade i rapporten
Vattenprover	Prov taget i juni		Rapport		Bacpoles	Inga resultat redovisade i rapporten

Tabell 1. Redovisning av de prover och analyser som utförts vid och på Stora Sofia i samband med skyddsåtgärderna och vid vilken tidpunkt detta har skett.

I ett inledande skede undersöktes den befintliga miljön kring Stora Sofia av Marine Monitoring, Kristineberg. De tog upp sedimentproppar och mätte redoxpotential ned till 8 cm djup. De tog även bilder av sedimenten (s.k. SPI – sediment profile image).

När skyddstäckningen hade utförts (2002) placerades en datalogger för att undersöka miljön närmast lämningen. Data från dessa mätningar har bearbetats av David Gregory vid Nationalmuseet, Danmark (bilaga 1).

De recenta träproverna har analyserats av Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala (bilaga 2 och 3). De arkeologiska träproverna har analyserats dels av Magnus Sandström, Stockholms universitet, Institutionen för strukturkemi (muntl. uppg.) dels av René Klaassen, Ute Sass-Klaassen och Tamara Vernimmen i Bacpolesprojektet (Klaassen 2005)

Den marina miljön

Salthalt, temperatur, syrekonzentration, pH och redoxpotential är viktiga parametrar som karakteriserar den marina miljön och ger information om bevarandeförhållanden för både organiskt och oorganiskt material i arkeologiska lämningar.

Salinitet

Salthalten kan enkelt definieras som den totala vikten av oorganiska salter lösta i 1 kg havsvatten. I oceaniskt vatten finns 35 g salter per 1 kg vatten, det vill säga salthalten är 35. I praktiken mäts salthalten (*saliniteten*) i havet som konduktivitet (ledningsförmåga) som ökar med ökande salthalt. Tidigare användes enheten ‰ (promille), men den moderna enheten för salthalt är PSU (Practical Salinity Units) och skrivs inte ut som sort. Saliniteten på svenska västkusten ligger kring 30. (Göteborgs universitet. Havet som miljö 2005).

Temperatur

I den marina miljön, liksom på land, gäller att kemiska och biologiska processer går långsammare vid lägre temperatur. Det betyder att nedbrytning av organiskt material går snabbare ju varmare det är i vattnet.

Syrekoncentration

Syre i havet kommer från atmosfären där syre löser sig i vattnet vid ytan. Dessutom bildas syre genom fotosyntes. Mängden löst syre varierar i oceanen från 0 till 8,5 ml/l (Pearson 1987:4). Syre förbrukas genom aerob respiration av plantor och djur och vid nedbrytning av organiskt material av aeroba bakterier. Detta är anledningen till att syre försvinner snabbt vid till exempel övertäckning när tillförseln stryps. Bentisk fauna som marina träborrare (t. ex. *Limnoria*), kräver syre för sin metabolism. Därför bevaras trä bäst vid låg syretillgång, där de destruktiva träborrarna inte kan leva.

pH

pH-skalan är en logaritmisk skala där varje minskning med ett pH-steg innebär en tio gångers ökning i koncentrationen av H_3O^+ , det vill säga en ökad surhet. Vid pH 7 är koncentrationen av H_3O^+ och OH^- lika stor i lösningen och den är neutral. Vid ökning i pH skalan ökar koncentrationen av OH^- och lösningen blir mer basisk. Havsvattnets pH är vanligen mellan 7,4 och 8,3 (Pearson 1987:6), alltså svagt basiskt, pH stiger med stor fotosyntetisk aktivitet och minskar med nedbrytningsreaktioner, så kallad respiration. I syrefria botten kan pH sjunka på grund av H_2S , vätesulfid som bildas i syrefri miljö. Vanligtvis är dock marina sediment buffrade och pH ligger stabilt mellan 7 och 8. Detta pH motsvarar förhållandevis goda bevarandeförhållanden för de flesta material.

Redoxpotential

Proportionen mellan oxiderande och reducerande komponenter i en lösning ger redoxpotentialen (Eh). Högre redoxpotential innebär högre andel oxiderande komponenter. Redoxpotentialen är relativ mot den valda nollpunkten vilken är en normal vätgaselektrod. Tas elektronen (e-) emot av väteelektroden är miljöns redoxpotential negativ, avges elektronen är potentialen positiv. Redoxpotentialen mätes i mV. Redoxpotentialen påverkas av syretillgången. I miljöer som är i jämvikt med atmosfärens syre är Eh = +800 mV. En negativ redoxpotential innebär alltså en låg syretillgång och därmed bättre bevarandeförhållanden för trä och annat organiskt material.

De flesta enzymatiska reaktioner är redoxreaktioner. Redoxpotentialen i miljön avgör om dessa processer kan ske. Strikt aeroba organismer är aktiva endast i positiva redoxpotentialer. Strikt anaeroba organismer är aktiva endast i negativa redoxpotentialer.

Lösligheten av vissa näringsämnen påverkas starkt av redoxpotentialen. Vid hög redoxpotential finns järn och mangan i form av Mn^{4+} och Fe^{3+} vilka är mycket svårösliga.

Vid låg redoxpotential är Mn^{2+} och Fe^{2+} lösliga. Dygnsvariationer kan förekomma i redoxpotentialen, på grund av fotosyntetiserande syreproduktion på dagen och respirerande syrekonsumtion på natten. När organiskt material bryts ner genom respiration blir organiskt material oxiderat (avger elektroner) samtidigt som ett annat material blir reducerat (mottar elektroner). Dessa reaktioner kallas redoxreaktioner. Redoxreaktionerna frigör energi som cellerna utnyttjar. I aerob respiration är det syre som fungerar som elektronacceptor. Vid anaeroba redoxreaktioner är elektronacceptorn en annan än syre. Anaeroba redoxreaktioner i marina sediment är nitratrespiration, sulfatrespiration och karbonatrespiration. Vid nitratrespiration är nitrat elektronacceptor och reduceras till ammonium. Vid sulfatrespiration fungerar sulfat som elektronacceptor och reduceras till vätesulfid (H_2S). Vid karbonatreduktion reduceras CO_2 till metan CH_4 .

Aerob respiration kan endast förekomma i de översta syresatta delarna av sedimenten, det vill säga från 2 mm kustnära till 2 meter i öppet hav. I dessa översta skikt dominerar aerob respiration (djur). Under den aeroba zonen är nitratreduktion den viktigaste redoxprocessen. Miljön är oxiderande men det finns inte fritt syre. Det bildas ammonium som ett resultat av nitratrespiration. Under nitratreduktionszonen ligger sulfatreduktionszonen. Här är miljön anaerob och reducerande. Vätesulfid ackumuleras och fälls ut med järnjoner till järnsulfid, FeS, eller pyrit, FeS_2 . Vätesulfiden kan oxideras till svavel av färgade svavelbakterier ifall det finns ljus, eller av färglösa bakterier, eller vid kemisk oxidation om det finns syre. På stort djup eller vid dålig vattenrotation kan H_2S breda ut sig upp genom vattenmassorna. Djupt ned i sedimentet övertar CO_2 reducerande bakterier och producerar metan (Sakshaug et al 1992).

Marina träborrhare

På svenska västkusten är det de träborrhare organismerna som orsakar stor skada på träkonstruktioner. De bryter ned trä snabbare än svamp och bakterier och spelar en viktig roll när det gäller att cirkulera kol i marin miljö. De vanligaste arterna är *Limnoria lignorum*, ett kräftdjur som på svenska kallas borrråssugga, och skeppsmasken *Teredo navalis* vilken är en mussla. Borrråssuggan borrar relativt ytliga gångar i trä i marin miljö. Stor skada kan åstadkommas genom att lager för lager av trä på detta sätt skalas av (Marklund 1990). Skeppsmasken kan orsaka stor skada genom larvinvasion och därmed förstöra träkonstruktioner på bara några månader. Djuret liknar en mask och har i framänden två skal vilka används till att borra. Resten av djuret är naket och skyddas av att gångarna som de borrar successivt kläs med ett kalklager (Marklund 1990)

De träborrhare organismerna kan ställa till stor skada på kort tid. De behöver dock syre och finns endast några decimeter ned i botten-sedimenten där de kan sörga för egen syretransport i de gångar de åstadkommer.

Svamp och bakterier

De mikrobiella angrepp som dokumenterats på prover från Stora Sofia är resultat av så kallade soft rot, tunnlande bakterier och erosionsbakterier. Soft rot orsakas av en svamp och förekommer endast om det finns syre. Den tunnlande bakterien kräver även en viss mängd syre medan den så kallade erosionsbakterien är den organism som kan orsaka skada även vid extremt låg syretillgång. Laboratorieexperiment har dock visat att inget angrepp sker om syre är fullständigt uteslutet (Nilsson 1998).

In situ-bevarande av Stora Sofia

Den bevarade delen av Stora Sofia står relativt kölrätt på 27 meter djup, nedsjunken cirka 3 meter i botten-sedimentet och mäter 40 x 10,5 meter (Bergstrand & von Arbin 2003). Det är sedimentet som skyddar lämningen mot nedbrytning dels genom att hindra fysisk påverkan, dels genom att skapa en syrefattig miljö. Syrenivån är viktig främst genom att den avgör vilken typ av biologisk nedbrytning som träet utsätts för. På svenska västkusten finns träborrhare organismer (bland andra skeppsmask och borrråssugga) som snabbt bryter ned trä. Dessa organismer kräver dock syre. Detsamma gäller vissa svampar som även de kan bryta ned trä på kort tid. Syret försvinner dock när man kommer några centimeter ned i botten-sedimenten. De anaeroba bakterier som finns här bryter också ned trä och annat organiskt material men nedbrytningen går betydligt långsammare. Bakgrunden till skydds-åtgärderna vid Stora Sofia är att sedimenten på och runt lämningen

eroderade. För att återskapa ett liknande skydd som sedimentets, det vill säga en syrefri och stabil miljö, utfördes en skyddstäckning av lämningen år 2002.

Utformningen av skyddet för Stora Sofia består av tre skikt: grus, gummimatta och viktsten (figur 2). Den övertäckta ytan mäter cirka 50×13 meter, vilket i relation till skrovkonstruktionens storlek ger en marginal på cirka 10 m i längd och cirka 3 meter i bredd. Gruset, som är av fraktion 1–5 mm, är utlagt i ett cirka 0,4 meter tjockt lager över hela den aktuella ytan. Över gruset ligger en 1 mm tjock duk av syntetiskt gummi (s.k. EPDM eller etenpropendien-monomer) som är viktad med betongplattor (30×30 cm) och ett tunt lager krossten i fraktion 40–150 mm. Duken var fördelad i sex rullar om vardera 25×5 meter, och rullades ut med dykare. Överlappningen mellan dukarna är omkring 1 meter.

Resultat: miljömätning

Det främsta syftet med miljömätningarna är att dokumentera att miljön under skyddstäckningen i det närmaste är syrefri och att inga oväntade förändringar sker i pH. Sedimenten runt Stora Sofia och under skyddstäckningen har dels kontrollerats med sedimentproppar och bilder (SPI, sediment profile image), dels med hjälp av en datalogger, som mäter temperatur, pH, djup, redoxpotential och mängden löst syre. Förutom detta har recenta prover av ek och furu placerats dels under, dels utanför skyddstäckningen. Par av dessa prover har regelbundet tagits upp för att undersökas med avseende på nedbrytning.

I samband med dykningar på lämningen då prover har tagits upp och när dataloggern har etablerats eller bärgats, har även okulär besiktning utförts. Besiktningarna innefattar en allmän bedömning av sedimentering eller erosion på och i direkt anslutning till skyddstäckningen. För ändamålet används bland annat två fasta mätkäppar på vilka förändringar i sedimenten kan avläsas.

Sedimentproppar och SPI

I juni 2002 utförde Marine Monitoring mätningar i anslutning till lämningen av Stora Sofia. Syftet var att få en bild av klimat- och bevarandeförhållandena i det naturliga sedimentet. Marine Monitoring tog upp sex sedimentproppar i vilka redoxpotentialen mättes i enlighet med Naturvårdsverkets riktlinjer. Redox mättes från 1 cm ovanför sedimentytan och ned till 8 cm djup. Sensorer stacks i propparna genom förtejpade hål.

Ett komplement till mätningarna är att ta bilder av sedimenten. Fjorton bilder togs runt Stora Sofia med en Sediment Image Profile-kamera. Kameran sticks ned i sedimentet och bilderna bearbetas sedan och

analyseras baserat på sedimentets färg. Den övre oxiderade delen av sedimentet är brunt och gränsen mot underliggande reducerat gråsvart sediment syns tydligt. I den bearbetade bilden är oxiderat sediment gult och reducerat blått, (figur 3).



Figur 3. SPI-bild från Marine Monitoring, juni 2002. Sedimentet är oxiderat (gult) ner till ungefär 10 cm djup.

Redoxmätningarna och SPI-bilderna ger en samstämmig bild av att botten runt Stora Sofia är en mjukbotten typisk för den svenska Västkusten. Värdet för redoxpotentialen på 8 cm djup låg vid mätningarna på mellan Eh 140 och 84 mV. Enligt bilderna går gränsen mellan

syresatt och reducerat sediment på runt 10 cm djup. Ned till cirka 10 cm i sedimentet kan alltså bottenfauna som träborrande organismer leva.

Datalogger

För att kontrollera miljön under övertäckningen användes en datalogger av märket Eauxsys 2685. Loggern är utrustad för att mäta djup, temperatur, löst syre, redoxpotential och pH. Loggern valdes till projektet för att det fanns erfarenhet av samma märke från undersökningar vid marinarkeologiska projekt från andra håll i världen, bland annat Finland och Danmark (the MoSS project: Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck sites).

Denna typ av datalogger är dock relativt ny och har utvecklats och förbättrats under projektets gång. Den har inte tidigare använts för att mäta i sediment, utan är framtagen för att mäta i fritt vatten. För att kunna mäta under skyddstäckningen tillverkades perforerade rör i plexiglas som placerades under skyddstäckningen på Stora Sofia. Under mätningen var loggerns sensorer för pH, redox och löst syre placerade i plaströren, på ett djup av 50 cm. Att mäta i rör på detta sätt innebär felkällor av olika slag som måste beaktas vid analys av mätresultaten. Till exempel kan biologisk aktivitet i rören bilda ett mikroklimat, vilket påverkar mätningarna. Metoden har utvärderats av Nationalmuseum i Danmark genom att olika sätt att mäta redox har testats och jämförts (Matthiessen 2003, Gregory 2004).

I maj 2004 utarbetades en manual för dataloggern av David Gregory (Nationalmuseet Danmark) och Eva Ernfridsson (SVK). På grund av instrumentproblem är det endast mätningarna under 2004 som gett användbara data. Under 2004 utfördes mätningar mellan den 25 maj och 31 augusti.

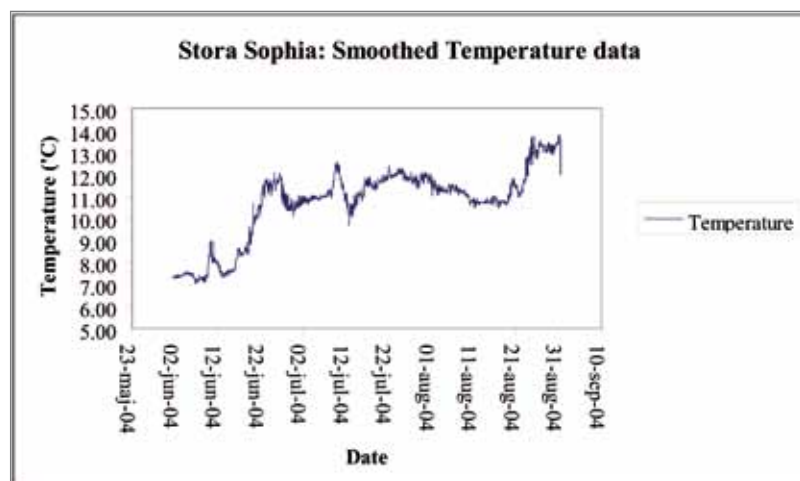


Diagram 1. Uppmätt temperatur 25 maj–7 september 2004 (bilaga 1).

Temperatur

Temperaturen var runt 7°C i början av mätningarna och ökade till runt 13°C i slutet av perioden (diagram 1). Det är vad man kan förvänta sig eftersom vattnet värms upp under sommarmånaderna.

Djup

Mätningarna visar ett medeldjup på 25,38 meter. Under mätperioden sjunker djupet gradvis, från runt 25,8 i början till runt 24,8 i slutet. Detta kan bero på faktiska förhållanden eller vara en effekt av att loggernas sensorer blivit övertäckta av marina organismer och därmed förlorat i precision. Samma fenomen har iakttagits i Marstrand. (Bergstrand & Nyström Godfrey, 2005: app 1:12).

För att undersöka om djupmätningarna från Stora Sofia-loggern stämmer jämfördes resultatet med data från SMHI:s hemsida. SMHI hade data endast för en kort period men de stämde väl överens med resultatet från Stora Sofia-loggern. De cykliska variationerna, ungefär 30 cm, i uppmätta data kan vara ett resultat av ebb och flod (bilaga 1).

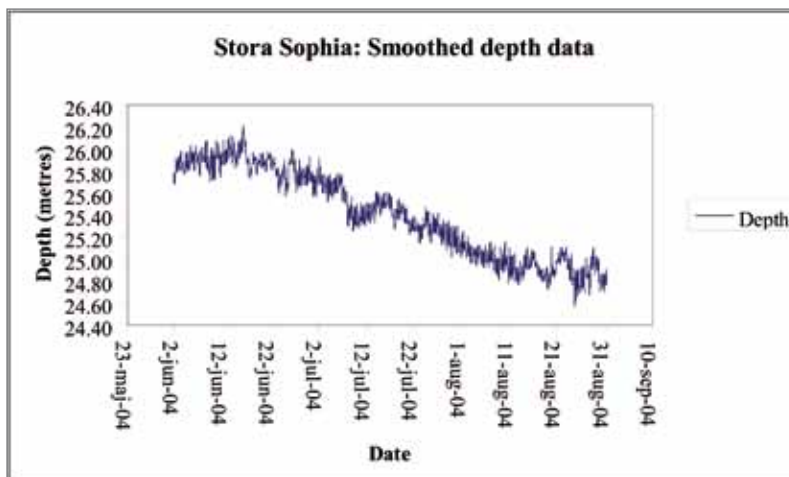


Diagram 2. Uppmätt djup mellan 2004-05-25 och 2004-09-07 (bilaga 1).

Löst syre

Vid mätningen 2004 tog det fyra timmar för nivån av löst syre att gå ned till 0. Syresensorn som är kopplad till loggern är utvecklad för att mäta i fritt vatten. Eftersom den förbrukar syre vid mätningen kan ett nollvärde vid mätning i plaströr bero på att sensorn själv förbrukar eventuellt tillgängligt syre. Undersökningar i Marstrandsprojektet (bilaga 1) har visat att metoden är olämplig för att använda i sediment. Mätresultatet är dock rimligt om det relateras till uppmätt redoxvärde efter fyra timmar, Eh 202 mV, och med tanke på att sensorn är placerad djupt i sedimentet (sand) och dessutom täckt av en presenning.

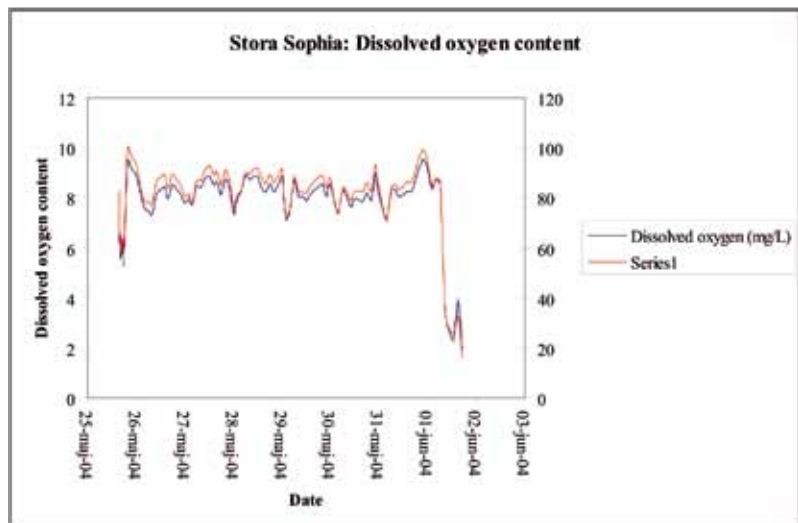


Diagram 3. Loggern placerades in situ 1 juni 2004 och mängden fritt syre minskar snabbt.

pH

Medel-pH är under mätperioden uppmätt till 7,46. Det finns ingen omedelbar förklaring till varför pH varierar som det gör med ganska snabba svängningar mellan 7,20 och 7,80. Sensorn fungerade som den skulle vid kalibrering efter mätperioden. En förklaring till svängningarna skulle kunna vara mikrobiell aktivitet (bilaga 1). Vid mätningar i sediment i Marstrand har pH uppmätts till runt 7,3 på 30 cm djup (Gregory 2004). Mätdata stämmer väl med vad man kan förvänta sig i marina sediment.

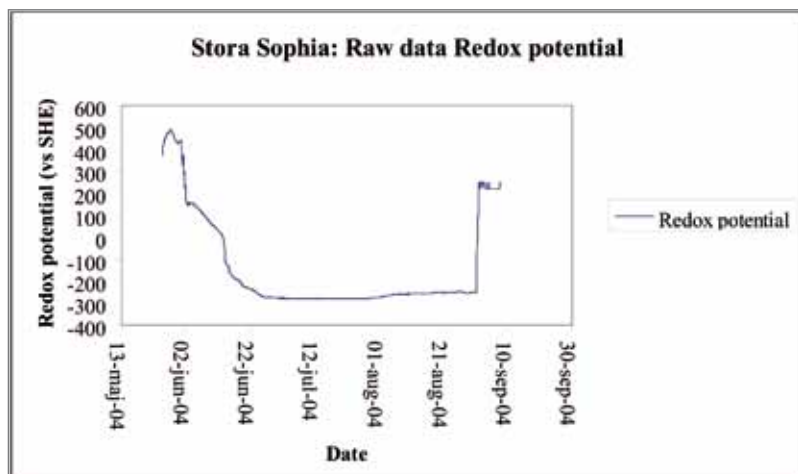


Diagram 4. Uppmätt redoxpotential mellan 25 maj till 7 september 2004 (bilaga 1). Man kan se att redox stiger markant när loggern tas upp den 31 augusti.

Redoxpotential

Efter tre veckor stabiliseras uppmätt redoxpotential runt -266 mV. Det innebär en starkt reducerande miljö och man kan förvänta sig att mikrobiell aktivitet är anaerob, det vill säga gynnsam ur bevarandesynpunkt. Vid så låg redoxpotential befinner man sig i området för CO₂ reducerande bakterier och man kan förvänta sig metanproduktion. Vad det innebär för bevarandet av Stora Sofia återstår att utreda.

Resultat: recenta träprover

I slutet av augusti 2004 samt i oktober 2007 togs vid respektive tillfälle två par träprover av ek och furu upp för analys. De hade då varit exponerade under cirka två respektive fem års tid. Hälften av proverna hade då varit placerade under skyddstäckningen och hälften utanför skyddstäckningen. Längden på stavarna var ursprungligen 60 cm och de var nedstuckna så att 10 cm stack upp ovanför sedimentytan. Trästavarna analyserades av SLU på tre nivåer (bilaga 2–3):

- Nivå 1: 1-10 cm (d.v.s. ovan sedimenten)
- Nivå 2: 20-30 cm (d.v.s. på 10–20 cm djup i sedimenten)
- Nivå 3: 50-60 cm (d.v.s. på 40–50 cm djup i sedimenten)

De analyser som utfördes var:

- U_{max} – mätning av träets maximala vatteninnehåll jämfört med friskt trä. Ju mer nedbrutet träet är desto mer vatten kan det innehålla.
- Mikroskopering av färgade tunnslip av träproverna för att dokumentera mikrobiell nedbrytning med avseende på typ av organism och nedbrytningsgrad.
- Makroskopisk undersökning för att påvisa skeppsmask och borrhåsgugga.

Resultat efter två år

Vid undersökningen av stavarna som exponerats under skyddstäckningen visade det sig att ekstaven var opåverkad i hela sin längd, även de översta 10 cm som skyddats av skyddstäckningen var intakta. Furstaven bar ytliga spår av träborrare (*Limnoria*, ej *Teredo*) och mikroorganismer ner till nivå 2, det vill säga på 10-20 cm djup. *Limnoria*-angreppen kan ha uppstått under de dagar som stavarna stod nedstuckna i sedimentet innan skyddstäckningen färdigställdes. Vid 50 cm djup (nivå 3) var furustaven helt intakt efter två års exponering.

Utanför skyddstäckningen var de översta 10 cm på trästavarna helt borta. Denna del var exponerad ovanför bottenytan och nedbrytningen är ett resultat av träborrande organismer. Furustaven bar ytliga spår av träborrare även på 20 cm djup (nivå 2), men var helt intakt på nivå 3 (på 40–50 cm djup). Ekstaven bar spår av både erosionsbakterier och soft rot, (en svamp), på 20 cm djup, men på nivå 3 fanns endast soft rot kvar.

Umax-värden kan variera dels mellan olika trädexemplar, dels mellan olika delar i träet. Det standardvärde som anges i tabell 2 för friskt trä är från litteraturen och som synes har de furu- och ekprover som inte är nedbrutna ett lägre umax-värde än respektive standardvärde. Av förklarliga skäl var det inte möjligt att få några värden för provpar 2, vilka hade varit exponerade utanför övertäckningen. Angreppen på alla övriga nivåer var så ytliga att umax-värdena inte visar på någon tydlig skillnad i nedbrytning.

	Furu	Ek	Furu	Ek
Friskt trä, standardvärde	193	122	193	122
	Provpar 1 (innanför täckning)		Provpar 2 (utanför täckning)	
Nivå 1: 0–10 cm	154	110	-	-
Nivå 2: 20–30 cm	131	106	139	94
Nivå 3: 40–50 cm	133	98	139	93

Tabell 2: Umax-värden från första upptagningen år 2002.

Resultat efter fem år

Både ek och furustavarna, som placerats under skyddstäckningen, uppvisar efter fem år angrepp av såväl erosionsbakterier som soft rot. Ju djupare ner i sedimenten träet är exponerat desto ytligare är angreppen av såväl erosionsbakterier som soft rot. Det finns en tendens att angreppen på ekträet domineras av soft rot medan angreppen på furun domineras av erosionsbakterier. Angreppen på eken är lindrigare än på furun. Dessa tendenser upphör dock vid 40–50 cm djup. Här återfinns endast erosionsbakterier och angrepps djupet är mycket ytligt, 0,1 mm, på såväl ek som furu.

Föregående analysomgång påvisade *Limnoria*-angrepp på furuproverna. Inga sådana angrepp kunde konstateras 2007. Förklaringen till detta beror troligen på variationer som uppstod i trämaterialen under den period (fem till tio dagar) då proverna var exponerade i miljön innan täckningen var klar.

Utanför skyddstäckningen har träet sämre skydd trots att det befinner sig nere i sedimenten på 50 cm djup. Skeppsmask kan konstateras ner till nivå 2 (d.v.s. ner till 20 cm djup) på trästavarna och de översta 20 cm av stavarna är helt uppätta. På det djupet borde inte skeppsmask finnas. Möjliga förklaringar till detta fenomen kan vara att sedimenten

eroderat runt om så att syret når djupare ner i proverna och/eller att skeppsmasken får tillgång till syre genom det redan angripna träet.

Precis som innanför skyddstäckningen minskar angreppen av mikroorganismer ju djupare ner i sedimenten träet är exponerat. Det finns också här en tendens att angreppen på ekträet domineras av soft rot medan angreppen på furan domineras av erosionsbakterier och att angreppen på eken är lindrigare än i furun. Jämfört med proverna under skyddstäckningen är angreppet på furuproverna utanför täckningen vid 40–50 cm djup tio gånger så stora (1 mm jämfört med 0,1 mm) respektive fem gånger så stora på ekproverna.

Inga umax-mätningar gjordes efter fem år eftersom angreppen fortfarande får anses vara så ytliga att dessa mätningar inte skulle ge några meningsfulla resultat.

Resultat: arkeologiska träprover

Dendrokronologi

Två laggstavar, en botten och ett lock till laggkärl alla identifierade som ek (*Quercus spec.*) har daterats och analyserats med hjälp av dendrokronologisk undersökningsteknik. Man har uppskattat fällningsåret till omkring 1634. Det geografiska område som stämde bäst avseende träringsserien och därmed är det troliga ursprungsområdet för trä materialet är nordvästra Tyskland eller Polen. (Klaassen 2005:84 och app. 5:251)

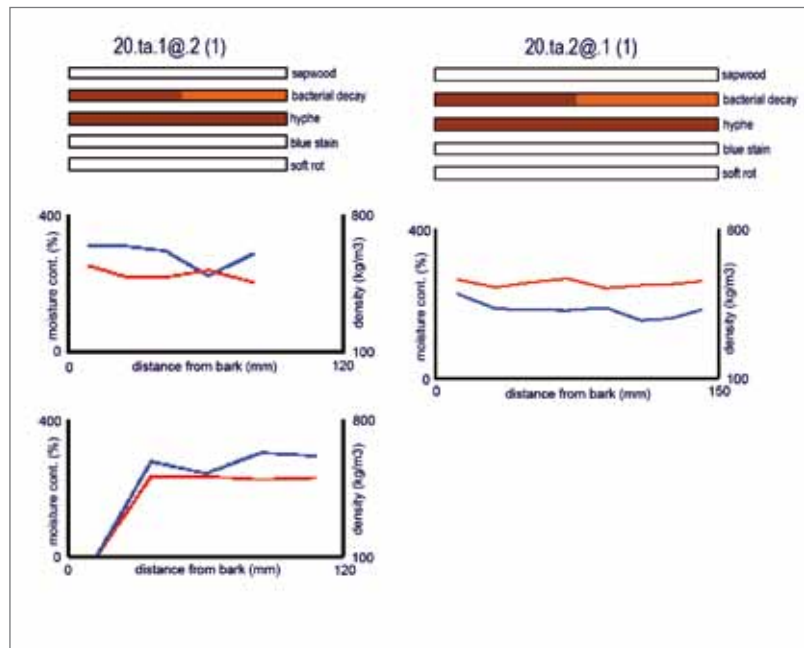
Nedbrytning

Samma arkeologiska träprover, tagna på ett djup av 30 cm, analyserades också mikroskopiskt och fysikaliskt avseende nedbrytningsmönster. Det konstaterades att proverna var nedbrutna av bakterier och svamp, nedbrytningen varierar inom varje enskilt prov. Varje enskilt prov uppvisade kraftigt nedbrutna partier och partier med moderat nedbrytning. Svamphyfer finns jämnt distribuerade över alla prover. Aktiva erosionsbakterier finns endast i ett av proverna. Fuktinnehåll och densitet har mätts i respektive prov (figur 4).

Resultat av svavelanalys

Den nyligen uppmärksammade nedbrytningen av träet på Regalskeppet Vasa, där höga halter av svavelsyra har uppmätts, ligger bakom intresset av att identifiera och undersöka svavelförekomst i andra arkeologiska lämningar av trä.

En totalsvavelanalys både på provmaterial av trä och av intilliggande sediment från Stora Sofia gjordes vid Institutionen för strukturkemi,



Figur 4. Nedbrytning av arkeologiskt trämaterial från Stora Sofia. Diagrammen illustrerar den mikrobiologiska nedbrytningen (brun = kraftig, orange = moderat). Graferna nederst illustrerar fuktinnehåll (blå kurva) och densitet (röd kurva) (Klaassen 2005:195)

Stockholms universitet (Tabell 3). Träfragmenten och sedimentproven togs dels i ett exponerat läge (0–10 cm under bottenytan), dels i ett skyddat läge, det vill säga på en djupare nivå (30 cm under bottenytan). Underhandsresultaten visar på en hög halt av svavel i såväl sediment som träfragment (Sandström, M. muntl. uppg.).

Totalsvavelhalten är högre vid 30 cm djup än vid sedimentytan, vilket är rimligt då mängden syre är mycket låg vid detta djup och de bakterier som existerar där är svavelreducerande bakterier. Däremot uppvisar det exponerade träfragmentet högre halter av totalsvavel än

Prov	Provplats	Vikt%
STSO1_3 Träfragment, ytteryta	30 cm djup	1,46
STSO1_3 Träfragment, mitten	30 cm djup	0,79
STSO1_3 Träfragment, inneryta	30 cm djup	1,82
STSO5_1 Träfragment, mitten	Exponerad vid bottenyta	2,9
Sediment STSO1	0-10 cm	2,35
Sediment STSO1 (DES)	0-10 cm	2,15
Sediment STSO2	30 cm	3,25
Sediment STSO2 (DES)	30 cm	3,3

Tabell 3. Resultat av totalsvavelanalys (Sandström, M. muntl. uppg.).

det fragment som legat på 30 cm djup. Samma exponerade träfragment uppvisar också högre totalsvavelhalt än sediment från ytan. Detta kan möjligen ha att göra med nedbrytningsgrad, vilket dock ej är utrett. Mittpartiet på det fragment som legat begravt har ungefär hälften så mycket totalsvavel som de ytor som exponerats mot sedimenten, vilket också är rimligt.

Diskussion

Lämningen efter Stora Sofia, liksom alla andra vrak från tiden före stålskrovens intåg, består till största delen av trä. Visst finns det fasta delar och föremål ombord tillverkade av annat material, organiskt såväl som oorganiskt, men huvudparten utgörs av trä. Det är därför väsentligt att fokusera på vad som sker med trämaterial i den miljö den befinner sig.

Nedbrytningen av organiskt material i marin miljö är främst orsakad av biologisk aktivitet. Det är därför intressant att koppla resultatet av miljömätningen till biologiska processer och relatera nedbrytningen av trästavnarna till olika organismers krav på syretillgång.

Marine Monitoring mätte redoxpotentialen i ostörda sediment vid Stora Sofia till Eh 120 mV på 8 cm djup och Eh 448 mV i sedimentytan (Nilsson 2002).

Mätvärdet 448 mV kan beskrivas som oxiderande miljö och 120 mV som något reducerande. Marine Monitoring karakteriserar miljön ned till cirka 10 cm djup i sedimentet som god för bottenlevande organismer, vilket innebär att det finns träborrare. Redoxmätningarna som utfördes med EauXsys datalogger stabiliserades efter tre veckor (2004) på runt -266 mV. Det indikerar en starkt reducerande miljö vilket är rimligt eftersom sensorerna var placerade på 50 cm djup, vid övergången mellan sediment och grus och dessutom överst täckta av en presenning. På detta djup var varken furu- eller ekstavnarna påverkade av *Limnoria*, bakterier eller svampar efter två år. Tre år senare, år 2007, har erosionsbakterier etablerat sig, en bakterietyp som överlever på ytterst lite syre. Angreppsdjupet är dock mycket ytligt på såväl furu som ek och bedöms vara mindre än 0,1 mm. Medelvärde för pH under mätperioden var 7,46, vilket är normalt för denna typ av miljö och motsvarar goda bevarandeförhållanden för trä och de flesta andra material.

Generellt för träproverna såväl under skyddstäckningen som utanför gäller att ju djupare ner i sedimenten träet är exponerat ju ytligare är alla typer av angrepp. Likaså förefaller det finnas en tendens att angreppen på ekträet domineras av soft rot medan angreppen på furun domineras av erosionsbakterier. Inte oväntat är angreppen på eken lindrigare än de på furun. Dessa tendenser upphör dock på 50 cm djup och, som nämnts ovan, här återfinns endast erosionsbakterier. Angreppsdjupen har inte bara minskat utan är också lika ytliga på ek som på furu.

Proverna innanför skyddstäckningen är fysiskt intakta och har kvar sina ursprungliga dimensioner i motsättning till proverna utanför skyddstäckningen där 30–50 procent av träet har totalförstörts av skeppsmask. Skyddstäckningen har alltså en tydligt skyddande funktion mot *Teredo* och *Limnoria*, men även de mikrobiella angreppen på träet minskar med skyddstäckningen. Utanför skyddstäckningen på 40–50 cm djup finns förutom erosionsbakterier också soft rot. Dessutom är angreppen tio gånger så stora på furun och fem gånger så stora på eken. Nedbrytningen under skyddstäckningen på 40–50 cm djup går alltså mycket långsamt.

Inte oväntat visar det sig att de delar av furu- och ekstavarna som inte var skyddade av sediment var helt borta efter två års exponering. Eftersom nedbrytningen av trä går oerhört snabbt när skyddande sediment försvinner och träet exponeras för bentisk träborrande fauna är det väsentligt att åtgärder för att skydda fornlämningar i marin miljö inte fördröjs utan kommer till stånd snabbt. Mer oväntat tyder proverna utanför täckningen också på att om ett skeppsmaskangrepp väl har startat ovanför sedimenten, kan det fortsätta djupare ner i träet än vad som vore möjligt om träet bara var omgivet av sediment. Det förefaller som om skeppsmasken får syre genom det redan angripna träet, att resterande trästruktur och det sediment som ersatt träet fungerar som ett sugrör som leder ner syre på djupare nivå. Sådana processer betyder ytterligare nedbrytning och förstärker fornlämningens behov av ett fysiskt skydd.

Slutsats

Skyddstäckningen av Stora Sofia stabiliserar miljön och bidrar till att bevara skeppslämningen för framtiden. Lämningen skyddas helt från träborrande organismer som skeppsmask (*Teredo navalis*) och borrhåssugga (*Limnoria lignorum*). Även angreppen av mikroorganismer minskar drastiskt. På 50 cm djup, där de översta delarna av skeppet finns, har endast erosionsbakterier noterats.

Fortsatt kontroll

Den femåriga utvärderingsperioden under vilken åtskilliga analyser har utförts har, såsom ovan redovisats, gett oss underlag för att dra några viktiga slutsatser. Den generella bevarandeproblematiken och mer specifika frågor kring en skyddstäckningsfunktion i Västerhavet kräver dock en utvärdering grundad på en längre period än fem år. Efter att utvärderingen 2002-2007 avslutades har riktlinjer dragits upp för en mer extensiv utvärdering. Detta arbete kommer att vila på fortsatta analyser av recenta träprover med två till tre års intervall, som kommer att omfatta en tioårsperiod. Den första i denna analysserie planeras till

2009. Simultant kommer även okulära besiktningar av skyddstäckningen att utföras.

En fortsatt utvärdering tjänar inte endast projektets primära syfte, det vill säga att bevara den aktuella lämningen, utan ger även åtråvärd data och erfarenhet i frågan om in situ-bevarande i både generella och specifika termer. Baserat på aktuella data skapas en trovärdig plattform för att diskutera skyddstäckningars utformning, funktion och ändamålsenlighet. Forskningsområdet har internationell relevans och har tagit många steg framåt under senare år. Det känns angeläget att vi i vårt regionala arbete tillämpar den tillgängliga kunskapen som finns inom området. Därigenom bygger vi upp en vederhäftig antikvarisk-strategisk handlingsplan för våra mest utsatta fornlämningar under vatten.

Tekniska och administrativa uppgifter

Lst dnr:	431-24611-2002
BM dnr:	127/01 K
BM pnr:	4103 (139/924)
SVK dnr:	NOK nr 404-2004
Fornlämningsnr:	Styrsö 341
Län:	Västra Götalands län
Kommun:	Göteborg
Socken:	Styrsö
Fastighet:	Vattenområde ÖSÖ Buskärs knöte
Ek. karta:	6190
Läge:	X 6397462, Y 1254814
Vattendjup:	27–28 meter
Koordinatsystem:	RT 90, 2,5 g Väst
Uppdragsgivare:	Sjöfartsverket
Ansvarig institution:	Bohusläns museum
Projektledare:	Thomas Bergstrand och Staffan von Arbin, Bohusläns museum
Koordinatorer för övervakningsprogram:	Inger Nyström Godfrey och Eva Ernfridsson, SVK
Konsulter:	Sveriges Lantbruksuniversitet, Nationalmuseet (Danmark)
Fältarbetstid:	2002–2007
Arkeologtimmar:	100
Arkiv:	Bohusläns museums arkiv

Referenser

Litteratur

Bergstrand, T. & von Arbin, S. 2003. *Vård av fartygslämning Stora Sofia Dokumentation, skyddstäckning och kontroll, Styrösö socken i Göteborgs kommun, Västra Götalands län, Västergötland*. Bohusläns museum Rapport 2003:35. Uddevalla

Bergstrand, T. & Nyström Godfrey, I. (Red.). 2007. *Reburial and analyses of archaeological remains. Studies on the effect of reburial on archaeological materials performed in Marstrand, Sweden 2002-2005*. Kulturhistoriska dokumentationer nr 20, Bohusläns museums förlag, Uddevalla.

Matthiesen, H. 2003. *Validation of oxygen measurements in dipwells using automated equipment*. Nationalmuseet, Department of conservation, In situ group, report no. 10832-0004-2.

Marklund, K. (Red.). *Nationalencyklopedin* 1990. Bra Böcker, Höganäs. Band 3 och 16.

Nilsson, T. 1998. *Microbial degradation of wood – an overview with special emphasis on waterlogged wood, Proceedings of the 7th ICOM-CC working group on wet organic archaeological materials conference, Grenoble 1998*. Bremerhaven.

Gregory, D. 2004. *The Marstrand Re-burial Project Monitoring environmental parameters within the re-burial trench. Status report for 2004*. Nationalmuseet, Department of conservation, report no. 12725–0006-01.

Pearson, C. 1987. *Conservation of marine archaeological objects*. Butterworths. London.

Klaassen, R. (red.). 2005. *Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation poles and archaeological sites. Bacpoles Final report*. A project for the Fifth Framework. Thematic programme IV: Energy, environment and sustainable development; Key action 4: City of tomorrow and Cultural heritage, Sub action 4.2.1: Improved damage assessment on cultural heritage. EVK4-CT-2001-00043. Wageningen.

Sakshaug, E. et al. 1992. *Ökosystem Barentshavet*. Oslo.

Otryckta källor

Göteborgs universitet, Havet som miljö. 2005. http://vivaldi.zool.gu.se/baskurs_ekologi_distans/Marin_Ekologi/Havet_som_miljo.html

MoSS project (Monitoring, Safeguarding and visualizing North-European Shipwreck sites)

Nilsson, H. 2002. Rapport från Marine Monitoring

Nyström, I. 2002. Stora Sofia – Skyddstäckning, kontroll och analys av skyddsåtgärd. Otryckt rapport inför skyddstäckningen av Stora Sofia. Studio Västsvensk Konservering, Göteborg. Ärendenummer NOK 00404-2004.

Sandström, M. Professor vid Stockholms universitet, Institutionen för strukturkemi. Muntlig uppgift 2005.

SMHI <http://www.smhi.se/>

Diagramförteckning

Diagram 1. Uppmätt temperatur 25 maj–7 september 2004 (bilaga 1).

Diagram 2. Uppmätt djup mellan 2004-05-25 och 2004-09-07 (bilaga 1).

Diagram 3. Loggern placerades in situ 1 juni 2004 och mängden fritt syre minskar snabbt.

Diagram 4. Uppmätt redoxpotential mellan 25 maj till 7 september 2004 (bilaga 1). Man kan se att redox stiger markant när loggern tas upp den 31 augusti.

Figurförteckning

Figur 1. Utsnitt ur GSD-Röda kartan/Fastighetskartan med platsen för undersökningen markerad.

Figur 2. Principskiss av skyddstäckningen av Stora Sofia med dataloggern och träprover utplacerade. Illustration av Anders Gutehall, Bohusläns museum.

Figur 3. SPI-bild från Marine Monitoring, juni 2002. Sedimentet är oxiderat (gult) ner till ungefär 10 cm djup.

Figur 4. Nedbrytning av arkeologiskt trämaterial från Stora Sofia. Diagrammen illustrerar den mikrobiologiska nedbrytningen (brun = kraftig, orange = moderat). Graferna nederst illustrerar fuktinnehåll (blå kurva) och densitet (röd kurva) (Klaassen 2005:195)

Tabellförteckning

Tabell 1. Redovisning av de prover och analyser som utförts vid och på Stora Sofia i samband med skyddsåtgärder och vid vilken tidpunkt detta har skett.

Tabell 2: Umax-värden från första upptagningen år 2002.

Tabell 3. Resultat av totalsvavelanalys (Sandström, M. muntl. uppg.).

Bilagor

Bilaga 1. Gregory, D. 2005. Preliminary interpretation of data logger gathered from the wreck of the Stora Sofia using the EauXsys Water Watch system. Otryckt.

Bilaga 2. Björdal, C. 2005. Undersökning av träprover från Stora Sofias vrakplats, två år efter skyddsåtgärder. Rapport från Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. Otryckt.

Bilaga 3. Björdal, C. 2008. Rapport. Undersökning av träprover från Stora Sofias vrakplats, 5 år efter skyddsåtgärder. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. Otryckt.

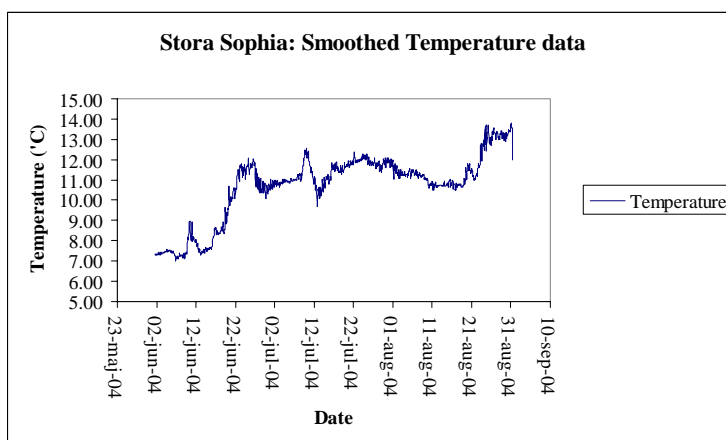
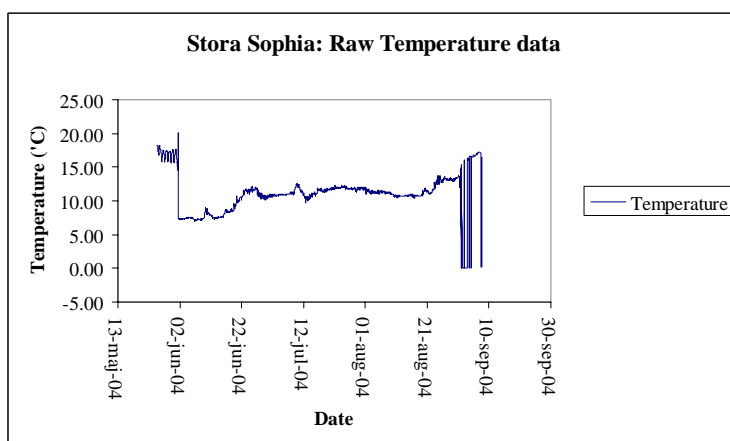
Preliminary interpretation of data logger gathered from the wreck of the *Stora Sophia* using the Eauxsys Water watch system

Introduction

The datalogger was deployed between the 25th May and 7th September 2004. The logger had sensors to measure temperature and depth in open water and dissolved oxygen, redox potential and pH within the burial mound of the wreck. This data was subsequently downloaded and sent to the present author for assessment. The following report is a preliminary interpretation of these results. Graphs have been prepared from the data and raw un-smoothed as well as smoothed data are presented. The smoothed data was that collected when the logger was at its operating depth and any obvious “outliers” present within the data – no other manipulation was carried out on the data.

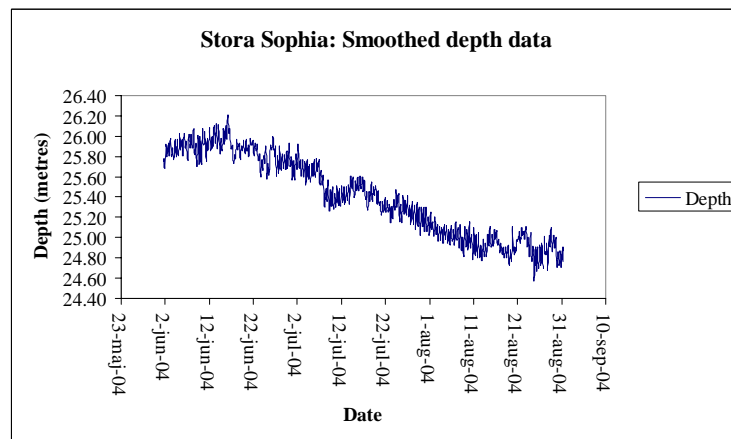
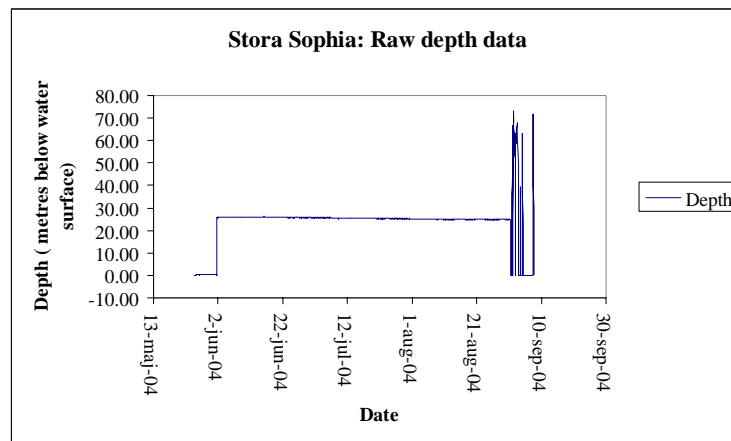
Results

Temperature

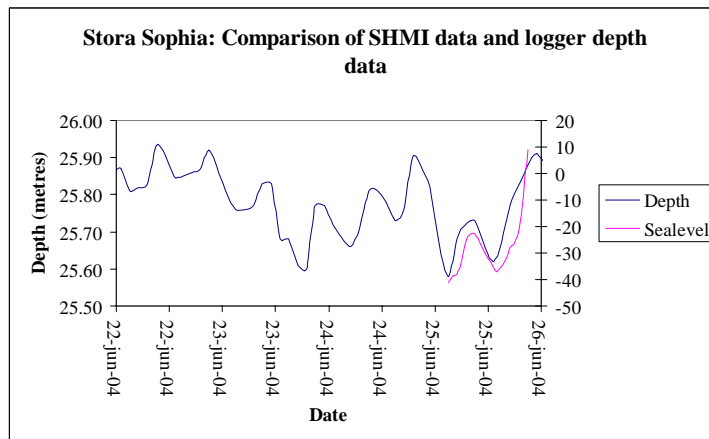


The initial water temperature (02.06.04) was 7.36 °C increasing to 13.28 °C by the end of the logging period. Such a trend could be expected due to warming of the water over the summer months.

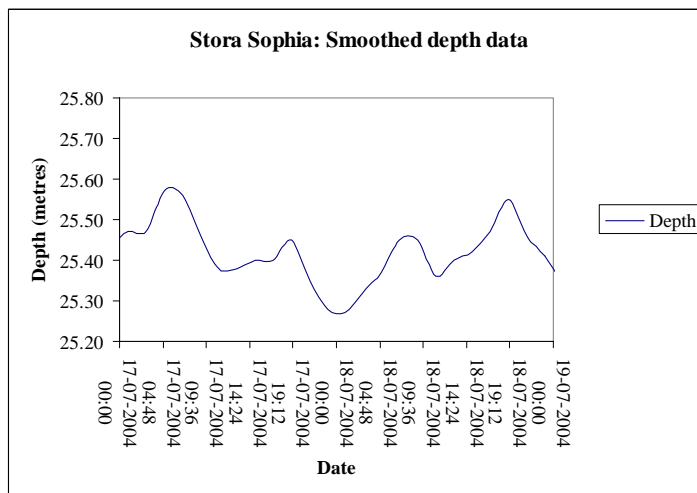
Depth

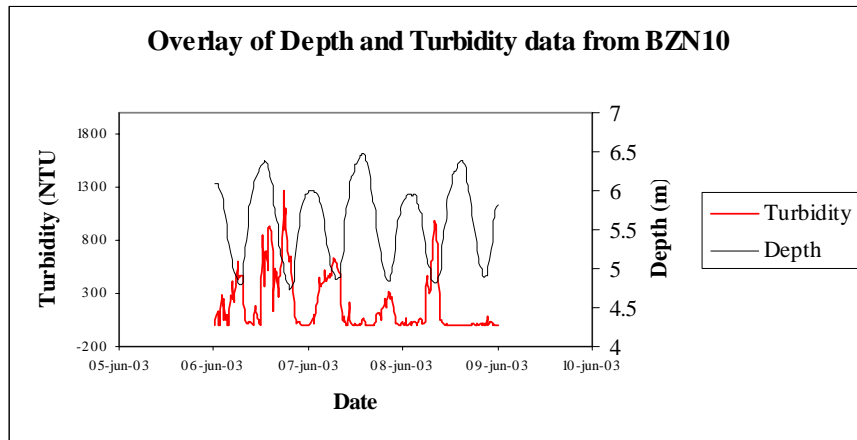


The average depth over the logged period was 25.38 metres (it is uncertain whether this has been corrected to a local datum). Interestingly there does appear to be a gradual decrease in the depth measurement. This may be a real effect – or it may be due to the positioning of the logger. Experience from the Marstrand site showed that if the depth sensor was covered (i.e with a tarpaulin) it did not perform correctly. However, in order to try and validate the results, data for sea level monitoring for one day during the sameperiod was obtained from the SHMI home page and overlain on the data from the logger. Even though this was very limited data, there was a very good correlation.



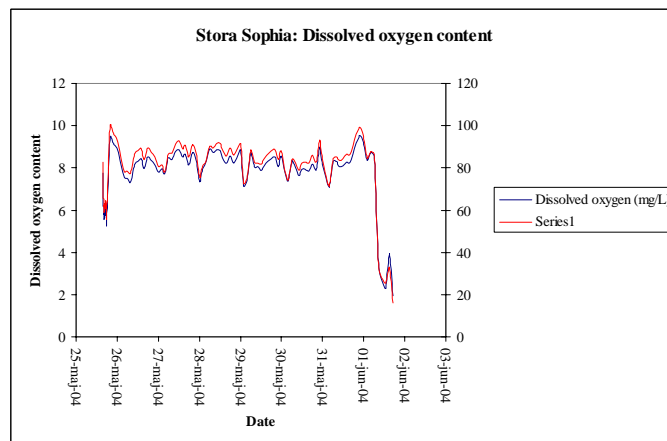
Looking at the data at a higher spatial resolution it can be seen that there are some cyclical changes in depth – possibly relating to tidal cycles. The range of depth throughout these cycles is approximately 30cm. It would be interesting to see if there is any sediment transport associated with these changes. Experience has shown, on other archaeological sites, that there can be significant sediment transport at certain states of the tidal cycle – in Holland it has been shown that, on one archaeological site, towards the end of the ebb tide, the current was strong enough to promote sediment transport over the area.





The above data was measured using a similar Eauxsys datalogger, which also had a turbidity sensor fitted. As can be seen at the end of the ebb tide there was sediment transport – admittedly they had a tidal range much larger than that of the *Stor Sophia* site but it may be useful to see if the burial mound is being affected by scouring in certain areas.

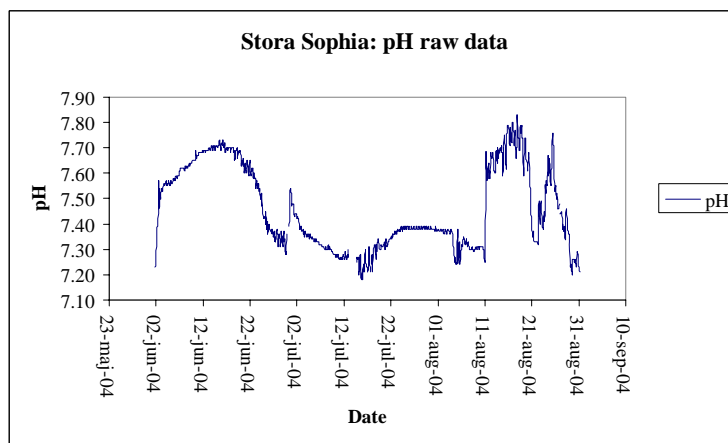
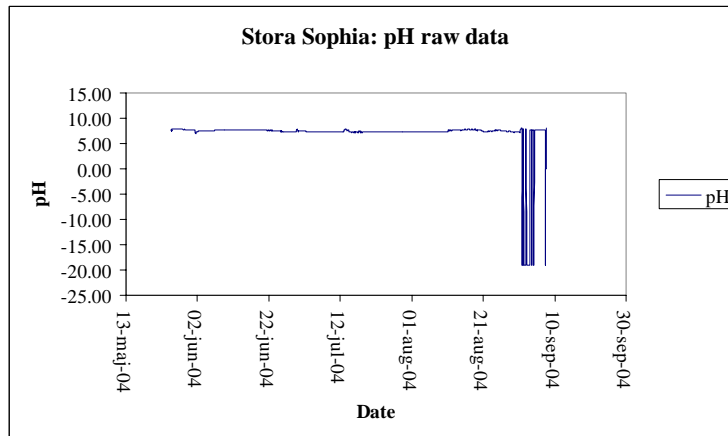
Dissolved Oxygen content



As has been found through the Marstrand re-burial project, the dissolved oxygen sensor is not suitable for measuring within sediments. As, due to the very nature of its design, the sensor consumes oxygen and thus if left in a “stagnant” environment (i.e. in a dipwell without stirring) all oxygen will be consumed and a zero reading will be given anyway. The sensor seems to have worked reasonably well when in open water (although it was on average only reading 80% saturation rather than 100% saturation. As can be seen above, as soon as the sensor was placed in the dipwell the sensor gave a zero reading yet this is not a true representation of the sediment; as discussed it is due to the way the sensor functions. Post deployment calibration of the sensor showed that it gave 0.2% saturation in a zero solution and 109.8% in oxygenated water which shows the sensor

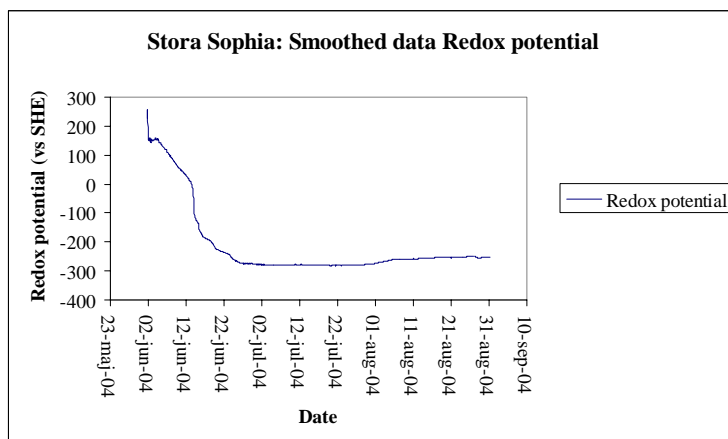
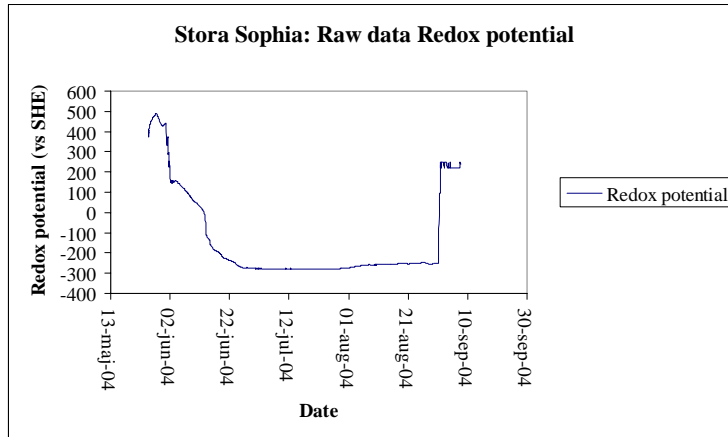
was still functioning after being in the dipwell. The validity of using the oxygen sensor for trying to determine dissolved oxygen contents of the sediment should be re-considered.

pH



The average pH logged was 7.46 and ranged from 7.20 – 7.80. The profile is rather jagged and there is no immediate explanation for this. It may be that a biofilm is present on the sensor membrane which causes the peaks. However, against this argument is the fact that post-deployment calibration gave results of pH 10.11 in pH 10 buffer and 6.88 in pH 7 so there was not too much drift over the three-month deployment. However, one should also bear in mind that a change in 0.6 of a pH unit is seen and the readings generally fall into an almost neutral pH.

Redox Potential



The redox sensor functioned very well throughout the deployment. As is often experienced with “permanently installed” sensors such as this, there was a lag time of 2-3 weeks before stable readings were given. The average potential (vs Standard Hydrogen Electrode) was -266mV which indicates reducing conditions and thus would indicate that any microbial processes on going in the re-burial mound are anaerobic – which are the optimal conditions for survival of organic material. Interestingly, the sensor was still functioning very well at the end of the deployment, indicated by the rapidly increased potential when it was removed from the dip well and taken to the surface.

Conclusions

Based on the redox potential and pH measurements it can be seen that the environment within the burial mound is neutral and reducing – conditions which are conducive to the preservation of the timbers. Redox profiles were very good, whereas the pH ones fluctuated slightly but only in a range of 0.6 of a pH unit

The dissolved oxygen sensor is not really suitable for measuring within sediments and its continued use should be evaluated.

Depth measurements were interesting in that they showed periodic fluctuations in water depth over the site (perhaps related to tidal cycles?). Although it was only a small change (ca. 30cm) it would be interesting to see if it is enough to create currents which could transport sediment and potentially erode / scour the burial mound.

David Gregory
4th March 2005

Undersökning av träprover från Stora Sofia's vrakplats, två år efter skyddsåtgärder

Bakgrund

Sedan två år tillbaka har nya träprover exponerats vid Stora Sofias vrakplats. Några prover har placerats under den skyddsduk som numera skyddar vraket, medan andra har exponerats precis utanför. Detta för att undersöka huruvida skyddsmetoden har någon positiv effekt på bevarandet av trämaterial.

Material

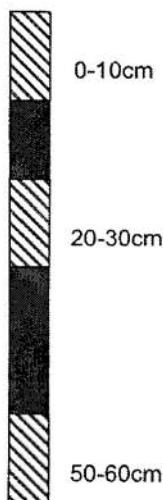
Två testpar, där varje par består av en ekstav (kärnved) och en furustav (splint), togs upp för analys efter 2 års exponering. Det ena paret hade exponerats under skyddsduken och det andra utanför. Längden på stavarna var 60 cm och de var placerade vertikalt i sedimenten med de översta 10 cm ovanför sedimenten.

Metod

För att identifiera träets nedbrytningsgrad efter 2 års exponering, användes 3 metoder.

1. Mätning av träets maximala vatteninnehåll (U_{max}), en standard som flitigt används av konservatorer för att få ett ungefärligt mått på nedbrytningsgraden.
2. Genom ljusmikroskopi analysera vilka mikroorganismer som har brytit ner träet och hur långt nedbrytningen har spridd sig in i träet
3. Makroskopisk undersökning av proverna för påvisning av skeppsmask och limnoria.

Varje trästav undersöktes på 3 nivåer:



Resultat

Resultaten för U_{max} mätningarna finns i tabell 1. Det var inte möjligt att få några värden för provpar 2 nivå 0-10 cm, eftersom de översta 10 cm av stavarna hade eroderat bort.

Resultat från undersökningar av mikrobiella angrepp samt makroskopiska observationer är sammanställda i tabell 2.

Angreppen av skeppsmask ses i Fig. 1. De olika mikrobiella angrepp ses i fig. 2,3 och 4.

Tabell 1. Umax i % viser det maximala vatteninnehåll i proverna som kan jämföras med värdena på friskt trä.

	furu	ek	furu	ek
Friskt trä	193	122	193	122
	Provpar 1 (innan för täckning)		Provpar 2 (utanför täckning)	
Nivå 0-10 cm	154	110	-	-
Nivå 20-30 cm	131	106	139	94
Nivå 50-60 cm	133	98	139	93

Tabell 2. Mikrobiella angrepp i trästavarna på olika nivåer, samt observationer om skeppsmask och limnoria angrepp

Nivå	Provpar 1 (innan för täckning)		Provpar 2 (utanför täckning)	
	furu	ek	furu	ek
0-10 cm (ovan sediment)	SR, TB, EB, LIM<1mm	Inga angrepp	SR, TB, SM, LIM	SR, TB, LIM, SM
20-30 cm	EB, LIM i ytan	Inga angrepp	EB, LIM i ytan	EB, (SR)
50-60 cm	Inga angrepp	Inga angrepp	Inga angrepp	(SR)

SR = soft rot svamp, TB= tunnlande bakterier, EB= erosions bakterier, SM= skeppsmask, LIM= limnoria, (parentes)= spår av

Konklusion

De första 10 cm på provpar 2 var borta pga. kraftiga angrepp av skeppsmask och Limnoria. Det visar på ett kraftfullt sätt att provpar 2 som var exponerat utanför skyddstäcket var mer utsatt för nedbrytning än provpar 1 som var skyddat. De mikroskopiska undersökningarna av provpar 2 visar att ytliga angrepp av limnoria och erosionbakterier fanns i träet på nivå 20-30 cm (alltså 20 cm nere i sedimenten), varefter angreppen upphörde både innanför och utanför skyddstäckningen.

Utanför skyddstäcket (provpar 2) var ek och furu proverna ungefär lika kraftigt nerbrutna. Under skyddstäcket var miljön däremot helt skyddande för ek, som var opåverkat i hela sin längd, medan furustaven hade moderata mikrobiella angrepp av soft rot, tunnlande bakterier och erosionsbakterier ovanför sediment-ytan.

Skeppsmask hade inte angripit provpar 1. Skyddstäckningen verkar därför skydda mot skeppsmask men inte mot limnoria.

Sedimenten verkar utgöra ett skydda i sig själv. Under ett sedimentlager på 60 cm verkar träet, både furu och ek att vara skyddat. Fler prover och undersökningar över en längre tidsperiod är dock nödvändig för att verifiera detta.

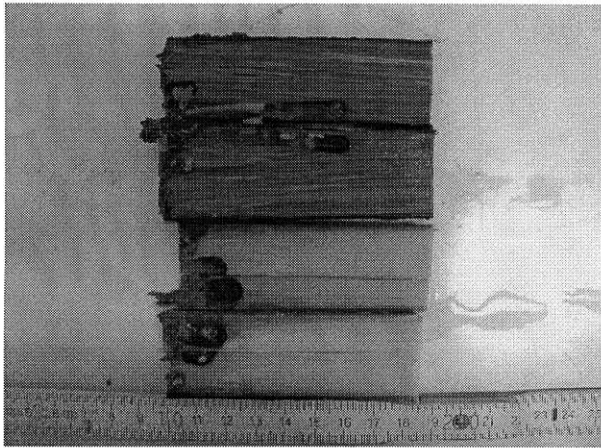


Fig. 1
Provpar 2 exponerat utanför skyddstäckningen visar kraftiga angrepp av skeppsmask som sprider sig neråt inne i träet till nivå 10 – 20 cm.

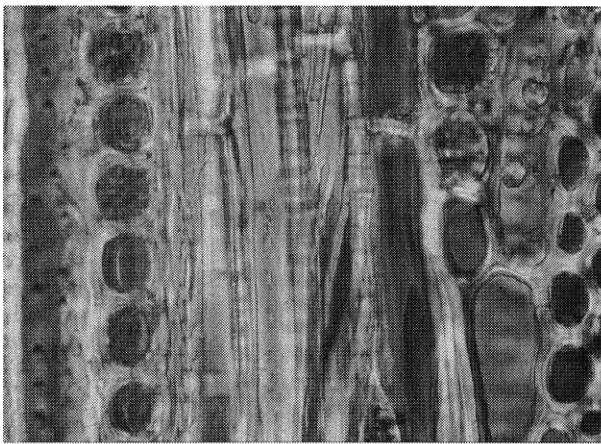


Fig. 2
Ekstaven i provpar 2 hade ytliga angrepp av soft rot även i nivå 50 – 60 cm. Här ses angrepp av typiska soft rot kaviteter i en fiber mitt i bilden.

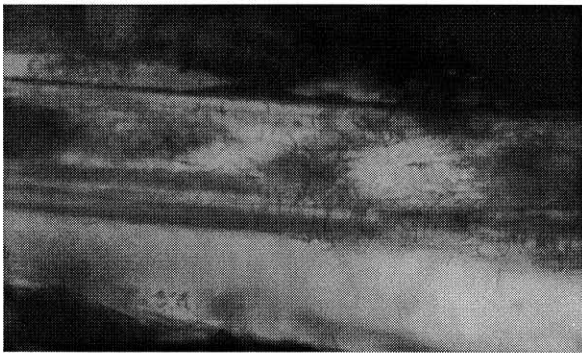


Fig. 3
Ytliga angrepp av tunnlande bakterier i båda provpar. Endast trämaterial som var exponerat ovanför sedimenten hade dessa angrepp.

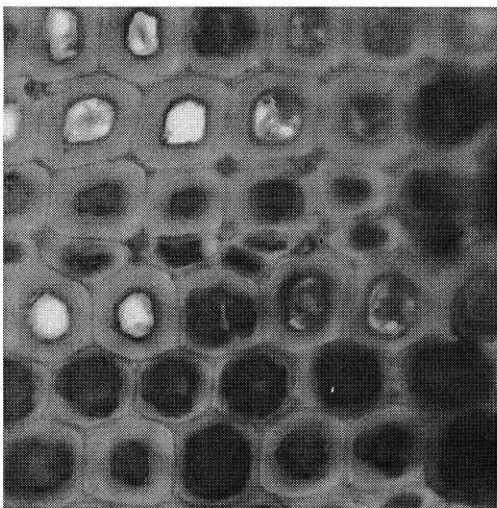


Fig. 4
Angrepp av erosionsbakterier var observerat i furu (provpar 1) och furu och ek (provpar 2) ända ner till nivå 20 – 30 cm. Kraftig rödfärgning av cellväggen i ett flertal träfibrer indikerar erosionsbakterie angreppen.

Bilaga 3. Björdal, C. 2008. *Rapport. Undersökning av träprover från Stora Sofias vrakplats, 5 år efter skyddsåtgärder.* Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. Otryckt.



Swedish University of
Agricultural Sciences

Rapport

Undersökning av träprover från Stora Sofia`s vrakplats, 5 år efter skyddsåtgärder

2008-03-20
Charlotte Gjelstrup Björdal
Ph.D., Forskare
SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet)

Bakgrund

Vrakets Stora Sofia långtidsdeponeras i sin marina fyndmiljö. Vrakets är övertäckt med sediment och skyddsduk. I samband med övertäckningen 2002, sattes 2 x 15 nya trästavar av ek och furu ner parvis både i sedimenten utanför övertäckningen och innanför övertäckningen (under skyddsduken). Träproverna är nersatta i syfte att kontinuerligt läsas av för att få information om den aktuella biologiska nedbrytning i miljön, och därmed indirekt kan berätta om hur väl skyddsåtgärderna har fungerat. De angrepp som finns i träproverna indikerar vilken typ av organismer som bryter ner virket i vraket och med vilken aggressivitet det sker. År 2004 uttogs 2 x 2 prov stavar; ett par av furu och ek i sedimenten utanför skyddsduken och ett par furu och ek prover innanför skyddsduken. Undersökningen av dessa prover visade att proverna utanför skyddsduken var mycket mer nedbrutna än proverna innanför, där angreppen var minimala (se också resultat SLU (Björdal 2005) i Delrapport 2005; Stora Sofia, kontroll och analys av skyddsåtgärder).

Tre år senare, under hösten 2007, togs ytterligare två provpar upp för analys. Resultaten från denna undersökning beskrivs i denna rapport, och resultaten diskuteras och jämförs med resultaten från 2002.

Material

Två testpar, varje bestående av en ek och en furustav, togs upp från vrakplatsen. Ett par togs från sedimenten utanför skyddsduken, medan det andra paret togs innanför skyddsduken. Dimensionerna på stavarna var ursprungligen 60 x 3 x 3 cm och de var nedpressat vertikalt i sedimenten så att de översta 10 cm var exponerade i vattnet ovanför havsbotten.

Metoder

För att identifiera stavarnas nedbrytningsgrad efter 5 års exponering, användes i stort samma metoder som vid den tidigare undersökning år 2005.

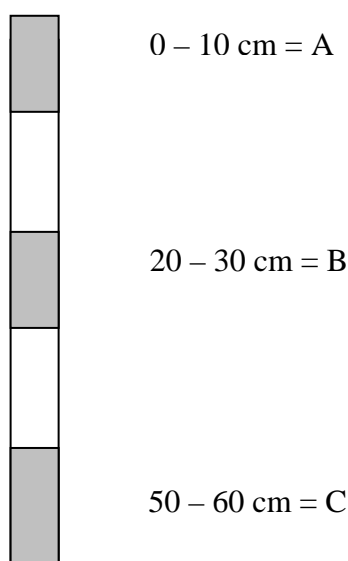
Två olika metoder användes.

1. Mikroskopisk undersökning av stavarna för bedömning av om träet har angripits av mikroorganismer, vilka typer det är och hur kraftiga angreppen är, (dvs. hur långt in i träet angreppen har spridit sig).

På varje stav undersöktes 3 nivåer: A (0 – 10 cm), B (20 – 30 cm) och C (50 – 60 cm), se också figur 1. Från mittenområdet på varje provbit (A,B,C) togs tunna tvärsnitt och längdsnitt för hand med rakblad. Snitten färgades sedan in. Alla snitt undersöktes i ljusmikroskop på upp till 600 gångers förstoring. En bedömning av vilka svamp- och bakterieangrepp som var dominerande gjordes på alla prover, och deras angreppsdjup och -grad uppmättes.

2. Makroskopisk undersökning av proverna för påvisning av skeppsmask och *Limnoria*. Proverna A, B och C undersöktes visuellt på ytan och efter klyvning.

Det gjordes inga Umax. mätningar, eftersom angreppen var så ytliga att dessa mätningar inte skulle ge några meningsfulla resultat, vilket inte heller var tillfället vid förra undersökning 2005.



Figur 1. Figuren illustrerar en trästav. De gråa områden undersöktes för angrepp av mikroorganismer, samt skeppsmask och *Limnoria*. Sedimentnivån börjar efter de översta 10 cm, dvs. att provbit A är exponerat ovanför sedimenten; i vattnet.

Resultat

Resultaten från undersökningarna av mikrobiella angrepp samt de visuella observationerna är sammanställda i Tabell 1 nedan. Foto av skeppsmaskangreppen i proverna B utanför skyddsduken visas i figur 2. De olika angreppstyperna som påträffades i några av proverna (soft rot (SR) och erosionsbakterie (EB)) ses i figur 3 – 7.

	Träslag	Angreppstyp	Dominerande	angreppsduj	limnoria	skeppsmask
Innanför skyddsduk						
A: 0 - 10 cm	furu	EB	EB	3 mm	inga	inga
A	ek	EB, SR	SR	1mm	inga	inga
B: 20 - 30 cm	furu	EB	EB	2mm	inga	inga
B	ek	SR,EB	SR	1mm	inga	inga
C: 50 - 60 cm	furu	EB	EB	0,1mm	inga	inga
C	ek	EB	EB	0,1mm	inga	inga
Utänför skyddsduk						
A: 0 - 10 cm	furu					
A	ek	Överste 20 cm av proverna uppätta av skeppsmask				
B: 20 - 30 cm	furu	EB	EB	2 mm	inga	i hela provet
B	ek	EB, SR, TB	SR	0,5 mm	inga	i större delar av provet
C: 50 - 60 cm	furu	EB	EB	1 mm	inga	inga
C	ek	SR	SR	0,5 mm	inga	inga

Tabell 1. Resultat från de mikroskopiska och makroskopiska analyserna



Figur 2. Efter 5 års exponering utanför skyddstäcket, var både ek och furustaven angripen på nivå B (20-30 cm). Detta indikerar att en del av sedimenten har eroderat bort och frilagt mer än den ursprungliga höjden (10 cm) hos stavarna ovanför sediment. Furu-staven är kraftigare angripen än eken vilken antigen är ett resultat av olika sedimentnivåer, eller olika beständighet mot skeppsmasken.

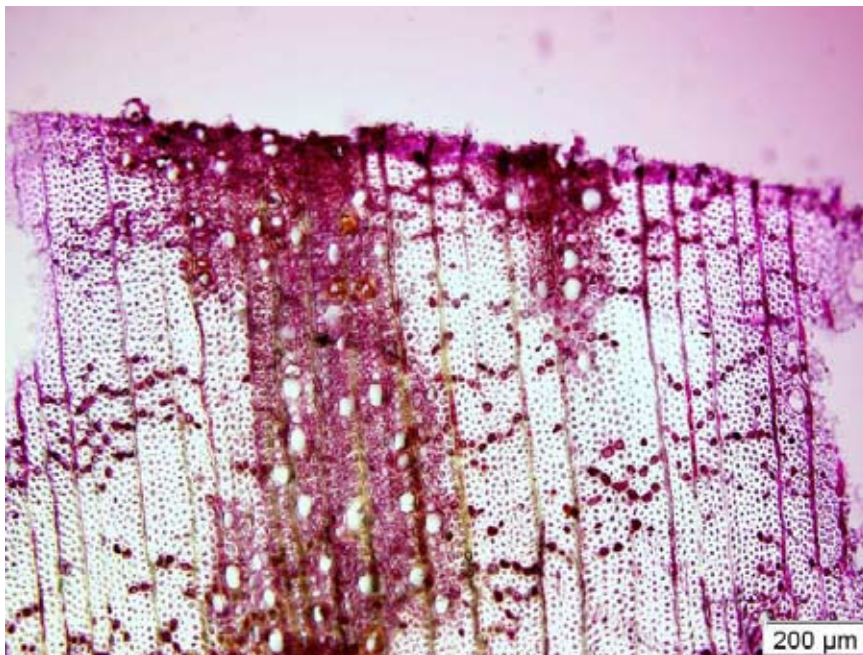


Fig. 3. Innanför skyddstäckningen i nivå A (= ovan sediment), har ekstaven angripits av erosionsbakterier. Angreppet är dock mycket ytligt och ses som ett tunt rödfärgat skikt längs kanten.

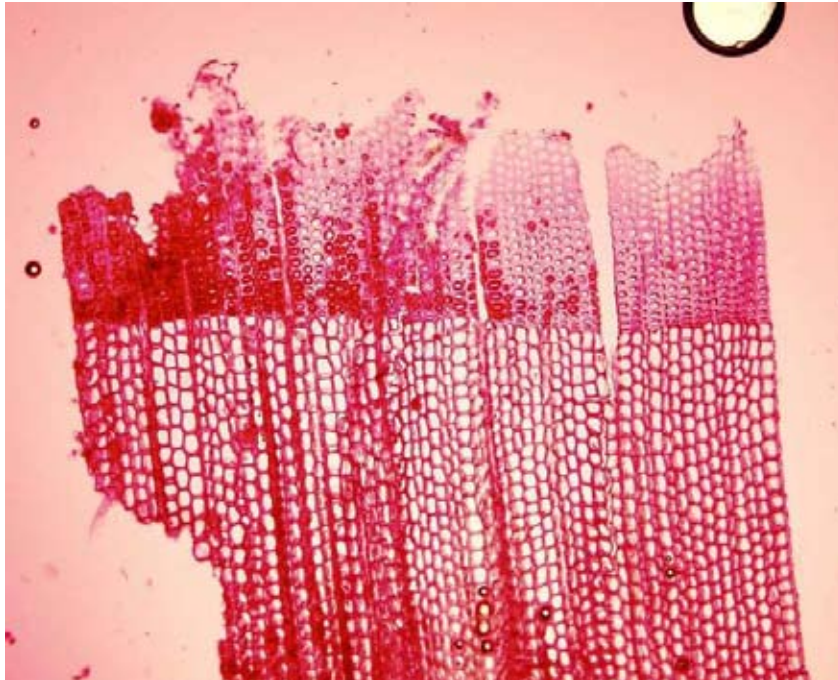


Fig. 4. Innanför skyddstäckningen i nivå B har furustaven angripits av erosionsbakterier. Angreppen sträcker sig upp till 2 mm in i träet och ses i detta tvärsnitt som rödfärgade fyllda vedceller i sommarveden.

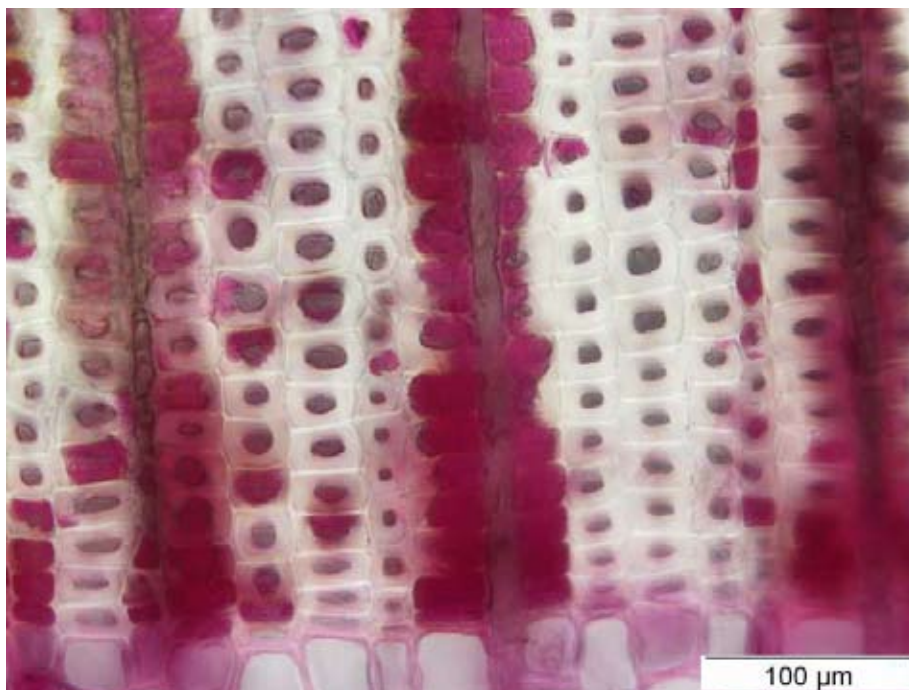


Fig. 5. Utanför skyddstäckningen i nivå B har furustaven kraftiga angrepp av erosionsbakterier, som sträcker sig upp till 2 mm in i träet. I detta tvärsnitt ses angreppen koncentrerat runt mörkårlerna. De röda fyllda celler är angripna medan de som lyser vitt är friska.

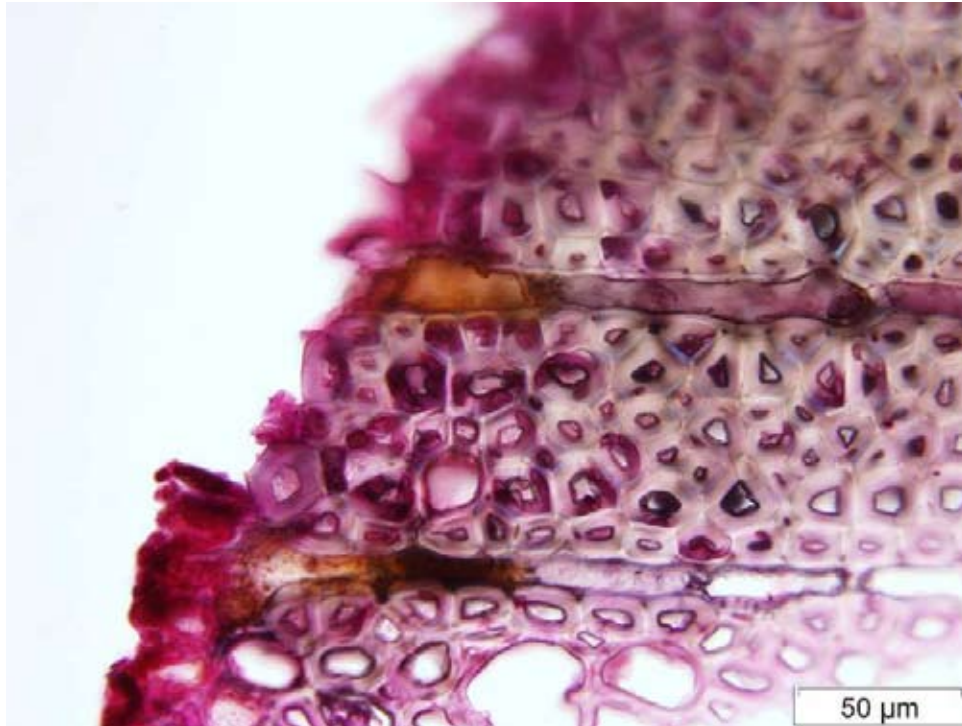


Fig. 6 Utanför skyddstäcket i nivå B är ekstaven angripna av soft rot svampar. Angreppen finns endast i ytskiktet, uppemot 0,5 mm in i träet. I detta tvärsnitt ses påbörjade angrepp i ett flertal vedceller längst ut mot kanten.

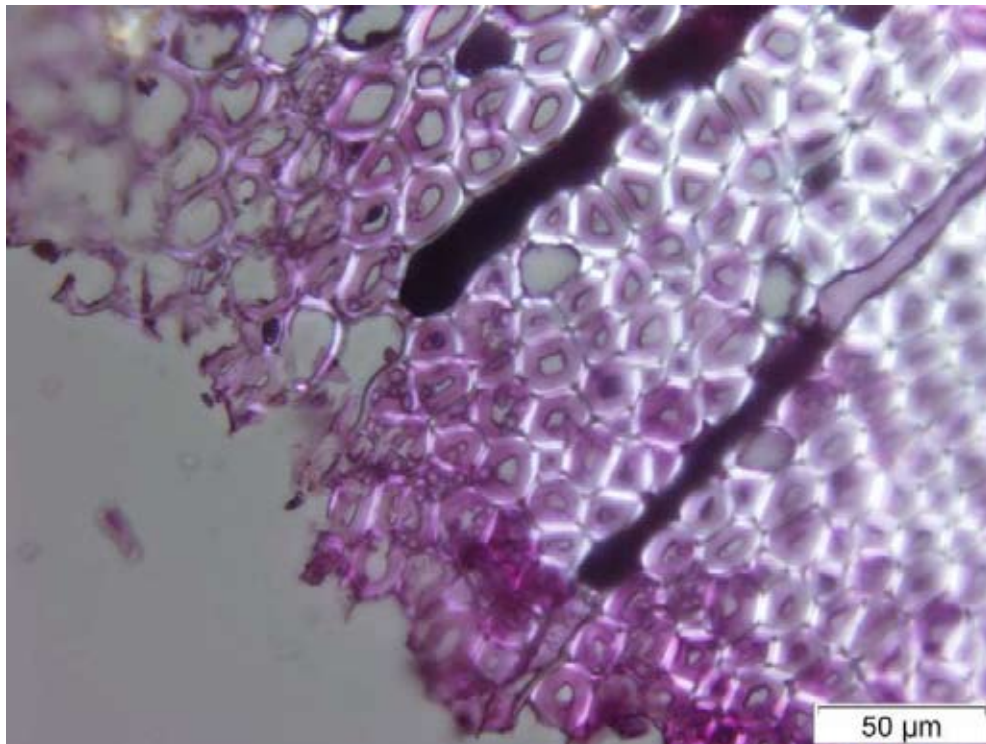


Fig. 7. Utanför skyddstäcket i nivå C är ekstaven angripen av soft rot svamp i de yttersta vedcellerna. Angreppen går mindre än 0,5 mm in i träet. I detta tvärsnitt ses soft rot angrepp i de ytterste 3 – 4 cellrader.

Diskussion

Proverna innanför skyddstäckningen är fysiskt intakta och har kvar sina ursprungliga dimensioner i motsättning till proverna utanför skyddstäckningen där 30 – 50 % av träet har totalförstörts av skeppsmask.

Skyddstäckningen har alltså en tydligt skyddande funktion mot skeppsmask och *Limnoria*. Resultaten från de mikroskopiska undersökningarna av de mikrobiella angreppen i träet visar att skyddstäckningen även minskar mikroorganismernas angreppshastighet. Ju djupare i sedimenten träet är exponerat (max. 50 cm), ju ytligare är angreppen av soft rot och erosionsbakterier. Det finns en tydlig tendens att angreppen på ekvirket domineras av soft rot medan angreppen i furuvirket domineras av erosionsbakterier. Dock är angreppen i ek lindrigare (ytligare) än i furu. Dessa tendenser upphör dock på 0,5 m djup innanför skyddstäckningen, där erosionsbakterieangreppen i både ek och furu bedöms vara mindre än 0,1 mm.

Utanför skyddstäckningen har träet ett sämre skydd trots att det befinner sig nere i sedimenten på 0,5 m djup. Troligen minskar skyddstäckningen (med duk) syretillgången under området och effekten av detta ses främst på 0,5 m djup.

Jämfört med avläsningen av proverna 2005, där det inte fanns mikrobiella angrepp vara sig utanför eller innanför skyddstäckningen på 0,5 m djup i sedimenten, har nu både erosionsbakterier, och i mindre utsträckning soft rot, etablerat sig på detta djup. Avläsningen 2005 visade också att angrepp av *Limnoria* fanns innanför skyddsduken. Detta kunde inte påvisas vid denna undersökning. Detta resultat avspeglar bristen på fler prover som borde undersökas vid varje tillfälle för att få alla resultat statistiskt välunderbyggda.

Ekproverna innanför skyddstäckningen var inte angripna alls av vare sig mikroorganism eller skeppsmask eller *Limnoria*. Vid detta tillfälle, 3 år senare, hade alla ekprover angrepp av mikroorganism, både erosionsbakterier och soft rot, som dock var mindre kraftiga än angreppen i furu.

Vid 2005 var de kraftigaste angreppen (i furu under skyddstäckning) mindre än 1 mm. År 2007 har angreppsdjupet ökat till 3 mm. Avläsningar i framtiden vill visa om nedbrytningen ökar linjärt.

Konklusion

Skyddstäckningen som används vid Stora Sofia, har en tydlig positiv effekt på långtidsbevarandet av det historiska trämaterial. Träet är skyddat från skeppsmask och *Limnoria* och en halv meter nere i sedimenten har de mikrobiella angreppen i träet endast brutit ner de yttersta 0,1 mm av träet efter 5 års exponering.

Angrepp av soft rot och erosionsbakterier har etablerat sig i både ek och furu materialet i hela provstavarnas längd och ner till 0,5 m i sedimenten, vilket inte var tillfället år 2005.

