

# Långtidsbevaring av arkeologiska träkonstruktioner i en terrester miljö – fallstudie Kronholmskoggen



**Sara Hardselius**

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen med huvudområdet kulturvård med inriktning mot konservering

2020, 180 hp  
Grundnivå  
2020



Långtidsbevaring av arkeologiska träkonstruktioner i en terrester miljö –  
fallstudie Kronholmskoggen

Sara Hardselius

Handledare: Charlotte Gjelstrup Björdal

Examensarbete 15 hp  
Konservatorsprogrammet, 180 hp



UNIVERSITY OF GOTHENBURG  
Department of Conservation  
P.O. Box 130  
SE-405 30 Göteborg, Sweden

<http://www.conservation.gu.se>  
Fax +46 31 786 4703  
Tel +46 31 786 0000

Program in Integrated Conservation of Cultural Property  
Graduating thesis, BA/Sc, 2020

By: Sara Hardselius  
Mentor: Charlotte Gjelstrup Björdal

Long term preservation of archaeological wood constructions in a terrestrial environment – case study  
Kronholmskoggen

## **ABSTRACT**

Larger archaeological wooden objects such as a shipwreck are expensive to excavate and preserve. In the past, archaeological wood material has been abandoned or even burned due to lack of sufficient economic resources. There has been an increased interest in preserving archaeological wood as a source of historical information. The method of *in situ* preservation can be a way to achieve long term storage of the objects in their excavation site. By preserving *in situ* it is possible that the objects are still preserved for the future and available for later investigations using more modern sophisticated methods of analysis.

Most of the archaeological wood found in waterlogged environments has shown microbial degradation. It is now known that oxygen is the most important factor to control in an *in situ* preservation environment to avoid attacks by microorganisms. An anaerobe waterlogged environment should work for long-term preservation storage.

The wreck Kronholmskoggen is preserved at its excavation site, on a golf course in Gotland. In 1995, the wreck was discovered, an excavation and documentation were carried out by a team of archaeologists and conservators. The wreck was preserved *in situ*, and placed next to the hull 4 new healthy wood samples were deposited to act as biosensors in order to be able to carry out a later analysis of the environment the wreck is preserved in.

This study presents a theoretical examination of one biosensor, describe the different steps of the examination and analysis of said sensor. Three methods were described theoretically in the study, the Needle Test, Light Microscope and Umax. Next, three possible and fictitious results are presented and discussed. Results are discussed to create an idea of the Kronholmskoggen environment and condition, and if one can recommend that the wreck continues to remain at this location.

The environment determines the conditions for a successful long-term storage. A waterlogged anaerobic environment protects the object from fungal infestation and tunnelling bacteria that need a higher oxygen content to grow. Erosion bacteria are the microorganism that accounts for the greatest degradation in water-soaked environments as it, unlike the other microorganisms, thrives in a low oxygen environment.

Title in original language: Långtidsbevaring av arkeologiska träkonstruktioner i en terrester miljö – fallstudie Kronholmskoggen

Language of text: Swedish

Number of pages: 33

Keywords: *In situ* preservation, microbial decay, waterlogged wood

ISSN 1101-3303

ISRN GU/KUV—20/32—SE



## Förord

Skepp och vrak har alltid varit en fascination sedan jag var barn och jag för första gången såg ett gammalt tidningsurklipp från farfars samling om fartyget Titanic. Fascinationen utvecklades till ett stort intresse för de sjunkna och begravda fartygen som inte längre seglade på haven. Detta ledde mig till slut till att börja studera till konservator med inriktning arkeologi.

Under en föreläsning med Charlotte Gjelstrup Björdal fick jag höra om ett medeltida vrak, Kronholmskoggen, som finns bevarat på sin fyndplats på en golfbana på Gotland. År 1995 påträffades vraket och en utgrävning och dokumentation gjordes. Man valde att bevara skeppet genom en så kallad "in Situ" bevaring, man övertäckte alltså vraket på sin fyndplats. Tillsammans intill skrovet deponerades nya 3 friska träprover för att i framtiden kunna göra en analys över miljön skeppet finns bevarat i.

Nu år 2020, alltså 25 år senare, har ett anslag från Riksantikvarieämbetet gjort att ett team med arkeologer, konservator och studenter kan återvända till Gotland och genomföra en utgrävning för att hämta biosensorerna. Detta ger en unik möjlighet i att studera hur långtidsdeponi fungerar i praktiken (Björdal, 2019). Tyvärr har världen år 2020 skakats av en pandemi, viruset Covid-19 som har försenat projektet. Jag skulle ha tagit del i utgrävning och analys av något av träproverna i min kandidatuppsats och har därför fått utforma uppsatsen genom en litteraturstudie för att sedan diskutera olika fiktiva analysresultat.

Tack!

Jag vill ge ett stort tack till min handledare professor Charlotte G. Björdal för idé till uppsatsämne, vägledning genom arbetet, för stötting och uppmuntran.

Jag vill ge ett tack till mina kursare, dessa vänner och blivande kollegor som alltid ställer upp med uppmuntrande ord och som är fenomenala att bolla idéer med. Särskilt stort tack till Maria och Frida för daglig peppning.

Jag vill också tacka min familj och mina vänner, utan ert stöd under hela utbildningen och uppsatsen hade det aldrig gått.

Jag vill framförallt tacka min man Erik för all kärleksfull uppmuntran, den irriterande men nödvändiga uppsatskritiken, och för att du stått ut med mig under denna skrivprocess under en pågående pandemi.





# Innehållsförteckning

1. INLEDNING .....	11
1.1 Bakgrund .....	11
1.2 Trä .....	11
1.2.1 Makronivå .....	11
1.2.2 Mikronivå.....	12
1.2.3 Vedens kemiska sammansättning .....	12
1.3 Biologiska nedbrtingsprocesser .....	13
1.3.1 Röttsvampar .....	13
1.3.2 Bakterier .....	15
1.3.3 Vart sker de mikrobiella angreppen? .....	15
1.4 <i>In situ</i> bevaring i en terrestra miljö .....	17
1.5 Tidigare forskning .....	18
1.6 Problemformulering och frågeställning.....	19
1.7 Syfte och målsättning .....	19
1.8 Avgränsning .....	19
1.9 Teoretisk referensram och etisk utgångspunkt .....	20
1.10 Källor .....	20
2. METOD OCH MATERIAL .....	21
2.1 Kronholmskoggen ett medeltida vrak .....	21
2.2 Biosensorer .....	22
2.3 Metod .....	22
2.3.1 Provmaterial .....	23
2.3.2 Nåltestet .....	23
2.3.3 Ljuskroskop.....	23
2.3.4 Umax .....	24
3. RESULTAT.....	24
4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....	25
4.1 Diskussion .....	25
4.2 Slutsats .....	27
4.3 Framtida forskning.....	27
5. SAMMANFATTNING .....	28
6. KÄLL-LITTERATURFÖRTECKNING .....	29
6.1 Otryckta källor .....	29
6.2 Tryckta källor .....	29
7. BILDFÖRTECKNING .....	32

# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Trä är ett lätthanterligt material som kan formas med relativt enkla redskap och är ett av de material som har använts tidigt i historien av människan för att tillverka bland annat redskap, hus och skepp. Trä har också varit en källa för mat till tamdjur i form av kvistar och grenar och en värmekälla genom att elda med ved vilket har varit en värdefull upptäckt för människan (Unger et al., 2001). När man studerar användningen av trä så studerar man människans historia. Fynd av arkeologiskt trä görs oftast i vattendränkta miljöer (Florian, 1990). Så länge arkeologiskt trä förvaras i en syrefattig vattendränkt miljö kan objektet hålla sin form och struktur i många hundra år. Cellerna fylls med vatten och kan därför hålla sin dimension istället för att falla ihop (Björdal, 2000), och på så sätt har en del värdefullt kulturarv kunnat bevaras (Björdal, 1999). Många gånger när ett arkeologiskt träföremål påträffas kan man vid första åsynen tro att den är välbevarad och i ett gott skick. Föremålet har ofta kvar sin ursprungliga dimension och arbetsspår från tillverkningen samt eventuell ornamentik och färgdekorationer. Men den naturliga nedbrytningsprocess arkeologiskt trä utsätts för gör att när träet sedan torkar så spricker det och får en oåterkallelig deformation. Konsekvenser av sådan allvarlig förändring ställer krav på konservering och bevarande av det arkeologiska träföremålet (RAÄ, 2015).

Större arkeologiska träföremål är kostsamma att gräva ut och konservera, och tidigare har arkeologiskt trämaterial övergetts eller till och med bränts pga. bristande ekonomi. Det har skett ett ökat intresse för att bevara arkeologiskt trä som en källa till historisk information (Capel et al., 1996). Metoden *in situ* bevaring kan vara en väg att gå för att långtidsbevara fynd i sin fyndmiljö. *In situ* bevaring passar för större fynd så som skeppsvrak och träkonstruktioner (Björdal, 2000).

Många frågor väcks vid upptäckten av ett arkeologiskt fynd i trä. Ska man göra en utgrävning nu? Om man väljer att låta det ligga, hur länge kommer det att förbli oförändrat? Genom att bevara *in situ* så kan det betyda att fyndet fortfarande finns där för att senare kunna undersökas med mer moderna sofistikerade analysmetoder (Nilsson, 1998). För att kunna ge mer tillförlitliga rekommendationer angående bevarande av fynd *in situ* och hitta den bästa miljön, behövs mer forskning inom området. Metoder behöver utvecklas för att kontrollera hur framgångsrik *in situ* bevaring är, och en väldigt enkel metod är att placera biosensorer intill fyndet i marken. Det är relativt enkelt att efter en viss tid återhämta dessa och sedan utvinna viktig information. (Björdal, 2019).

För att förstå hur en lyckad *in situ* bevaring skall åstadkommas behövs kunskap om nedbrytare, miljö samt materialet som skall bevaras.

## 1.2 Trä

Träd delas in i två olika grupper, gymnospermer och angiosperm (barrträd och lövträd) (Sjostrom, 1993). Barrträden har en enkel uppbyggnad med två celltyper, trakeider och parakymmer, varav 90% trakeider. Trakeiderna är långsmala och kallas ofta för fiber, de transporterar vätska och näring men har också en mekaniskt stödjande funktion. Parakymcellerna är till för framförallt lagring av näringsämnen och transport. Lövträden har en större variation av antal celltyper med olika form och storlek än barrträden, och variation mellan lövträdslag förekommer. De består av ca 60% av fiber, libriformfibrer och fibrotrakeider. Hos lövträden är det kärnen som står för vätsketransporten (Saarman, 1992).

### 1.2.1 Makronivå

Ved produceras i trädets tillväxtskikt, kambiet, som även är det enda levande skiktet i veden. Kambiet finns emellan barken på trädet och dess xylem (Unger et al., 2001). Viktiga makroskopiska delar hos ved är: märe, kärnved, splintved, kambium, bastbark, ytterbark, årsringar, märestrålar, hartskanaler hos barrträd och käril hos lövträd, se fig1. Längst in mot mären finns den döda kärnveden, vilket hos

vissa träslag kan ses som en mörkare yta. I ytterdelen finns splintveden, som leder vatten från rötterna upp till trädkronan (Sjostrom, 1993).

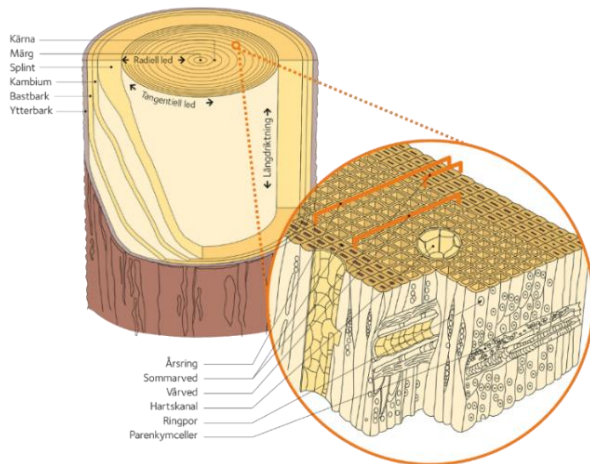


Fig.1 visar stammens uppbyggnad. (Trädguiden, 2003)

### 1.2.2 Mikronivå

Träfibrerna i en förenklad beskrivning, ses som långa celler som är ihåliga i mitten (lumen) och staplade ovanpå varandra. Vedcellerna produceras under vår och sommar. Under våren sker en tillväxtperiod och cellens diameter ökar, under sommaren blir cellväggarna tjockare. Variationen mellan vårved och sommarved bildar en årsring (Rodgers, 2004), se fig.1 och 2. När man tittar på cellerna på mikronivå så ser det ut som sammanlimmande rör. Cellerna är uppbyggda genom olika skikt, se fig.3. Mittlamellen består av lignin och fungerar som en svets mellan cellerna. Primärväggen är en tunn vägg. Sekundärväggen delas upp i tre lager S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, de tre skikten skiljer sig i struktur och kemisk komposition. De hålrum som är markerat i svart i fig.3. är lumen. Lumen omsluts av cellens innersta del som består av ett vårtlager (Sjostrom, 1993).

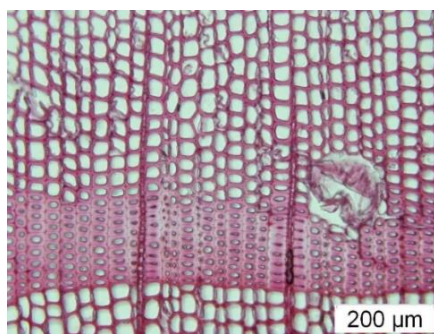


Fig.2 Visar ett tvärsnitt av ett barrträ mikroskop. Sommarveden ligger kompakt och skapar en årsring. Vårveden har stora celler. En hartskanal syns som den större cirkel mellan vårveden och sommarveden. Foto © C. Björdal

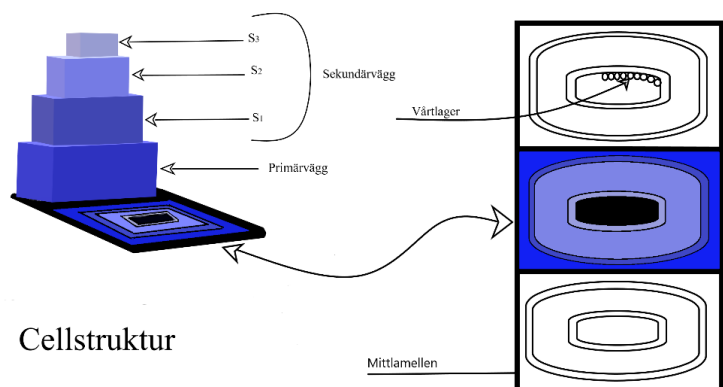


Fig.3. Cellstrukturen i tvärsnitt, primär och sekundärväggens uppbyggnad samt hur de är sammanfogade med mittlamellen.

### 1.2.3 Vedens kemiska sammansättning

Ved är en sammansättning av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Längden hos en cellulosamolekyl är åtminstone 5000 nm motsvarande en kedja med omkring 10,000 glukosenheter. Kedjorna är sammanlänkade till mikrofibriller som omges av hemicellulosa och lignin. Mikrofibrillerna

kombineras till större fibriller och lameller. I en förenklad bild ses cellulosan som ett skelett som omges av en matris i hemicellulosa och täckande sammanhållande material av lignin (Sjostrom, 1993).

### 1.3 Biologiska nedbrytningsprocesser

Nedbrytningen av trä är ett ständigt pågående förlopp, och är en del av naturens biologiska kretslopp (Hoffman and Jones, 1990), Olika nedbrytningsprocesser kan ske vid olika stadier av objektets livsskeden, vissa processer kan ske när föremålet är i bruk och andra tar vid när föremålet hamnat i mark och vatten. Trä påverkas mest av de biologiska nedbrytningsprocesserna. Härutöver kan träobjektet påverkas av ett *fysiskt tryck*, samt en mindre *kemisk påverkan*. (Fors, 2014).

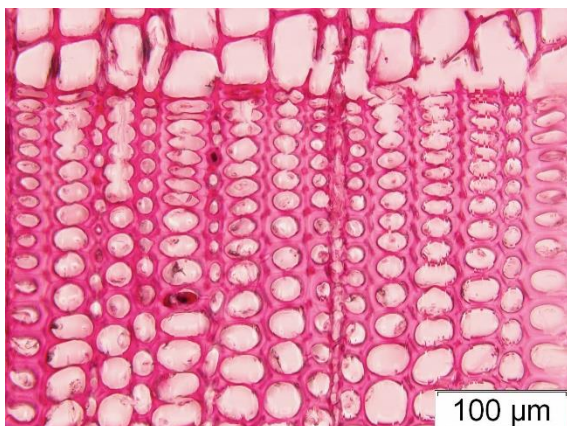
Angrepp som kan påverka nedbrytningen ovan mark kan tex vara insekter, bakterier, svampar, sol och regn. Angrepp i vattendränkta miljöer kan vara små organismer som gråsuggor och skeppsmask, och mikrobiella angrepp från svampar och bakterier. Träslag har olika motståndskraft mot bakterie- och svampangrepp, men trots att alla träslag har olika struktur och egenskaper så är alla mottagliga för en biologisk nedbrytning (Blanchette et al., 1990). Svampangrepp har sedan en längre tid varit känt medans bakteriella angrepp är en relativt ny upptäckt (Nilsson, 1998).

#### 1.3.1 Rötsvampar

De flesta svampar är flercelliga och deras morfologi förbättrar förmågan att uppta näring från deras omgivning. Kroppen på dessa svampar formar ofta nätverk av trådstrukturer som kallas hyfer, vilka finns i bland annat jorden eller annat substrat som ved. Svamphyferna formar en månggrenad sammanvävd massa som kallas mycel vilket är den vegetativa delen av svampen (Reece et al., 2011).

Röta är ett uppsamlingsnamn för skador som uppstått av angrepp från vednedbrytande svampar. Svamparna drar nytta av näring i veden genom att bryta ned cellulosa och lignin. När cellulosan och ligninet bryts ned sker en strukturförändring och ofta sker en synbar missfärgning av veden (Berglund, 2017) Det finns flera tusen olika arter av vednedbrytande svampar. Det har gjorts ett försök att klassificera dem i tre olika kategorier beroende på tillvägagångssättet för angreppet, vit-röta, brunröta och soft rot. Systemet är inte helt precist och det förekommer en stor variation av arter och nedbrytning (Blanchette et al., 1990).

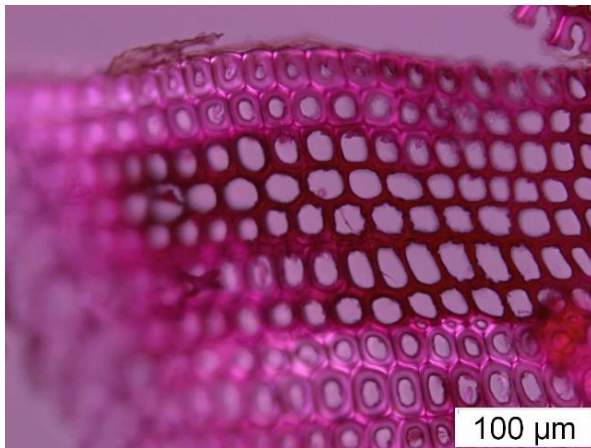
*Vit-röta* är ett resultat av nedbrytning från basidiesvampar (basidiomycetes) som har förmågan att bryta ned alla cellväggens komponenter. Alla vit-röta svampar kan bryta ned lignin. Vissa arter gör det genom att attackera ligninet selektivt och låter bli cellulosa och hemicellulosa, medan andra bryter ned hela cellväggen. Svamparna använder sig av ett enzymatiskt verktyg för att bryta ned ligninet och andra enzymer för att bryta ned cellulosa och hemicellulosa. När trä blivit angripet av dessa svampar ger vit-rötan träet ett blekt utseende med långa fibrer (Blanchette et al., 1990).



*Fig.4 Vid identifikation av vit-röta i tvärsnitt i ljusmikroskop kan man se att hela cellväggens komponenter är nedbruten inklusive mittlamellen (Björdal, 2000). Foto © C. Björdal*

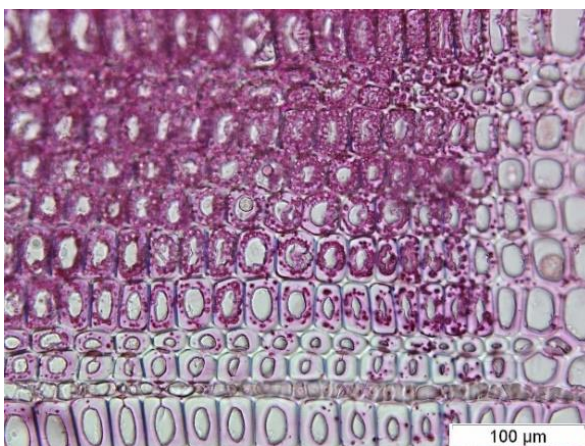
*Brunröta*-angrepp orsakas också av gruppen basidiesvampar, och några av arterna är extremt destruktiva och kan orsaka stor skada på kort tid (Nilsson, 1998). Redan vid ett tidigt stadie av brunrötaangrepp så förlorar veden sin styrka då nedbrytning av cellulosan sker. Vid ett senare stadie i nedbrytningen har cellulosa och hemicellulosa utarmats och ligninet endast utsatts för en begränsad nedbrytning. Detta resulterar i att trä som har mycket högt lignininnehåll blir brunt och när det sedan torkar så går träet sönder i kubiska bitar (Blanchette et al., 1990).

Genom att titta med polariserande ljus på ett brunrötaangrepp har man kunnat se nedbrytningen av kristallin cellulosa i träet (Blanchette et al., 1990).



*Fig.5 Angrepp av brunröta i tvärsnitt. I mikroskop kan man identifiera ett angrepp av brunröta då det visar en transformation av den andra cellväggen till en mörk och något svullen oordnad massa (Björdal, 2000). Foto © C. Björdal*

*Soft rot* orsakas av svampgruppen ascomycetes och fungi imperfecti, och en stor del av dess arter kan orsaka soft rot. Den mest karakteristiska formen av nedbrytning av soft rot är håligheter som växer parallellt med cellulosa-mikrofibrillerna. Angreppet sker oftast i S<sub>2</sub> lagret, vilket man lättast ser i ett tvärsnitt. Vissa soft rot svampar kan orsaka erosion av cellväggen. Hyferna växer i cell-lumen och ger den karakteristiska utseendet av soft rots-hyfernas håliga formation, se fig.6. Trä som utsatts för soft rot framstår ofta som mjukt när det är vattendränkt och förlorar styrka. När träet torkar så spricker det och antar en brun till svart nyans. Angreppen anses till största del ske på ytan/utsidan av träet (Blanchette et al., 1990).



*Fig.6 visar karakteristiskt bild av hur nedbrytningen med soft rot kan se ut. Hyferna syns som små ihåliga formationer (Blanchette et al., 1990). Foto ©C. Björdal*



### 1.3.2 Bakterier

Till skillnad från svampangrepp så sker bakteriella angrepp långsamt och kan inte tävla med svampangrepp i hur framgångsrik nedbrytningen är om miljön är lämpad för svampangrepp. Den vanligaste angreppsformen från bakterier man observerat är erosions- och tunnlande bakterier (Blanchette et al., 1990).

*Tunnlande bakterier* kan effektivt bryta ned träcellens vägg, även de delar som är rik på lignin (Singh 1997). Man kan ofta observera tunnlande bakterier i mittlamellen vilket är en indikator på att ligninkomponenter är angripna. Bakterierna gör tunnlar genom mittlamellen vilket ger en möjlighet för bakterien att kunna spridas vidare i trästrukturen. Trä som angripits av tunnlande bakterier är ofta svagt missfärgat ljusbrunt eller ljusgult och får ofta en mjuk smörig eller grymig konsistens. Tunnlande bakterier är en mycket destruktiv nedbrytare, bred i vad den kan angripa (Cellulosa, lignin, hemicellulosa) och kan angripa trä som är resistent mot svampangrepp (Blanchette et al., 1990).

*Erosionsbakterien* har fått sitt namn efter dess eroderingen av cellväggen hos trä. Erosionsbakterier är den största mikrobiella nedbrytningsfaktorn för arkeologiskt vattendränkt trä (Björdal, 2000). Angreppet sker från en encellig bakterie som eroderar träets cellvägg med start från lumen (Nilsson, 1998). De bryter ned vissa partier av trästrukturen och lämnar cellerna ”tomma” med endast delar av cellväggen kvar som ett skelett. Nedbrytningen sker långsamt och är ofullständig eftersom de inte bryter ned lignin, vilket gör att vattendränkta arkeologiska fynd kan bevaras under mycket lång tid i sin fyndmiljö (Björdal, 2000). Nedbrytningen leder till att vedens xylem ofta blir mjukt och ”svampigt” och utan styrka (Pedersen, 2015). Mittlamellen kan ända in i ett senare stadie av nedbrytningen hållas intakt. Erosionsbakterier bryter ned både barrträd och lövträd och klarar av syrefattiga miljöer. Ett vanligt kännetecken är att angreppen inte sker homogent (Blanchette et al. 1990).



*Fig.7 Visar angrepp av erosionsbakterier i ett tvärsnitt av barrträd i mikroskop. Celler som blivit nedbrutna har fyllts upp av infärgning inför undersökning i mikroskop. Foto © C. Björdal*

### 1.3.3 I vilken miljö sker de mikrobiella angreppen

Basidiesvampar behöver en luftfuktighet på över 28% för att trivas och är i behov av en miljö med tillräckligt mycket syre, observationer har visat på begränsade angrepp i vattendränkta miljöer. De allra bästa förutsättningarna för tillväxt har brun- och vitrötasvampar när syrehalten är hög och koldioxidhalten är låg. Även temperatur och pH är viktigt för nedbrytning, men de flesta arter av brun- och vitrötasvampar är toleranta för olika spann av temperatur och pH. En temperatur mellan 25–30°C är optimalt, men vissa vitrötasvampar trivs även i en högre temperatur mellan 39–40°C, och andra vednedbrytande svampar trivs över 40°C och under 20°C. Ett pH-värde mellan 3.5 – 5.5 är optimalt, men de kan växa under och över dessa värden också. Vitrötasvampar klarar av sura miljöer sämre än

brunnrötasvampar (Blanchette et al., 1990). Brunnrötasvamparna finns enbart i terrestra miljöer och det finns inga rapporter om brunröta i marin miljö (Nilsson, 1998).

Soft rot behöver ingen extern näring vid angrepp på trä, men det har observerats att tillskott av kväve ökar hastigheten av angreppet. Svamparter som orsakar soft rot kan leva i en temperatur över 0°C och övre gräns på 60-62°C beroende på art. Det har ännu inte kunnat redogöras för hur tillgången på syre och koldioxid påverkar soft rot svampar. Soft rot är vanlig i marina miljöer men också i terrestra miljöer (Blanchette et al., 1990). Soft rot är som mest aktiv vid kontakt med jord men klarar också vattendränkta miljöer om det finns tillräckligt med syre (Nilsson, 1998). Det man har observerat är att soft rot i vattendränkt trä visar på att de klarar av en miljö med lägre syrehalt än vad basidosvamparna klarar (Blanchette et al., 1990).

Det har ännu inte helt otvetydigt gått att demonstrera bakteriers nedbrytning av trä i totalt syrefria miljöer. Bakteriers angrep sker ofta där svampangreppen är begränsande, och bakterier förekommer i nära syrefria miljöer, framförallt erosionsbakterier. Tunnlände bakterier behöver mer syre än erosionsbakterier, vilket har visats i studier av vattendränkta miljöer där syre varit begränsat och erosionsbakterier var mer förekommande. Tunnlände bakterier har istället observerats mer i drivved och trä som inte befinner sig på ett för stort djup, dock förekommer observationer i djupt vatten. Det har observerats bakteriella angrep på botten av östersjön vilket indikerar att bakterierna klarar relativt låga temperaturer, studier i laborationsmiljö visar att de klarar runt 40°C. Både tunnländebakterier och erosionsbakterier uppträder i trä som är mättat med vatten, men observationer från terrastrala miljöer visar att bakteriella angrepp också kan förekomma i en miljö med lägre fukthalt. Bakterier kan förekomma både i saltvatten och sötvatten (Blanchette et al., 1990).

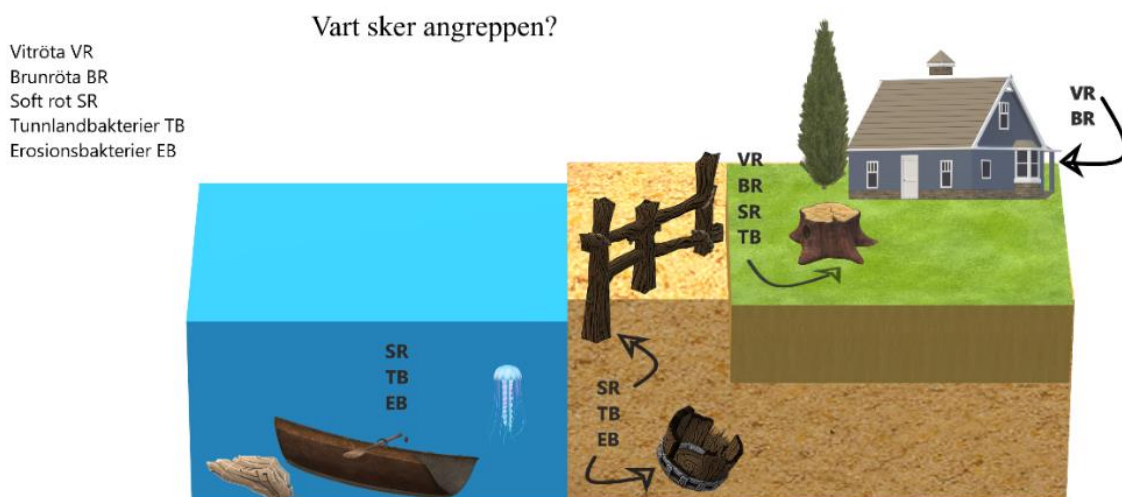


Fig 8. Syre är en hög centralroll när det kommer både i vilken utsträckning angreppet sker men också vilken typ av angrepp. Vit-röta och brunröta kräver en högre syrehalt och återfinns i terrestra miljö. Soft rot och tunnlände bakterier har en högre tolerans mot en lägre syrehalt och kan hittas även i vattendränkt trä. Där det är som lägst syrehalt är bara erosionsbakterier aktiva (Nilsson, 1998).



## 1.4 In situ bevaring i en terrester miljö

Miljöer som kan tänkas utgöra fyndmiljö för arkeologiska träföremål kan delas in i terrestra miljö (mark), och marin miljö (trä i vatten – akvatisk/vattendränkt miljö) (Fors, 2014). Termer som anaerob (brist på luft och alltså brist på syre) och anoxisk (mycket syrefattig eller helt syrefritt) används ofta om våta jordmiljöer. Många gånger som fynd görs av arkeologiskt trä görs det i sediment eller jord där miljön beskrivs som aerob eller anoxisk (Caple, 1994). Reburial och *in situ* bevaring är två metoder för långtidsbevaring i naturen och passar bra för skeppsvrak och träkonstruktioner. Vid en Reburial så har först en utgrävning och undersökning genomförts, ibland även transport till en annan plats, av det arkeologiska materialet. Sedan begravs materialet på en plats som setts ut för att vara en bra bevarande miljö. Vid en *in situ* bevaring så övertäcks materialet på sin fyndplats med så lite störning som möjligt (Björdal, 2000).

Björdal (2000) beskriver i sin avhandling sex individuella parametrar som påverkar bevaring av vattendränkt arkeologiskt trä. Alla faktorer som diskuteras har på ett eller annat sätt en relation till mikrobiell nedbrytning. Syre verkar vara den viktigaste faktorn att förhålla sig till. *Träet* i sig är viktigt, om det är ett barrträd eller ett lövträd har olika inverkan på graden av angrepp och storleken på fyndet är viktigt. *Vattnet* bör tas med i beräkningen. Den vattendränkta miljön är grundläggande för bevaring i naturen under lång tid. *Jordtyper* kan variera mycket och påverka om det är en bra bevarande miljö. Tillvägagångssättet vid *övertäckningen* av fyndet och *djupet*, det djup som fyndet begravs i. Vid ett djup på 10 cm eller mindre kan troligtvis syre förekomma och utnyttjas av mikroorganismer (Björdal and Nilsson, 1998).

Markens egenskaper, lokal geologi, hindrad dränering, platsens avseende på topografi och vattenförsörjning är viktiga faktorer som leder till en vattendränkt markmiljö. Jordar med hög hydraulisk konduktivitet, ofta återfinns det i en sandmiljö, håller ofta inte tillräckligt med vatten och kan därför inte utveckla de villkor som krävs för bevaring om det inte finns någon form av konstant vattenförsörjning. Samtidigt har jordar med slit- och lersubstrat mindre partiklar och porstorlekar som hindrar vattnets rörelse. Jordar med denna låga hydrauliska konduktivitet behåller vatten och undertrycker syrediffusion i en högre grad (Holden et al., 2006).

I många länder, inklusive Sverige, finns inga klara tillvägagångssätt och strategier för en *in situ* bevaring i terrestra miljö. Det har hittills varit ett begränsat forskningsområde och objektets tillstånd samt rutiner för att se över bevaringsmöjligheten för framtiden för konstruktioner och skepp har inte varit i focus. Kronholmskoggen och vikingaskeppet Äskekärr II är två skepp som bevarats genom *in situ* i Sverige. Båda vrak har återbegravts *in situ* i en terrester miljö på grund av ekonomiska förhinder att genomföra en fullständig utgrävning och konservering. Kronholmskoggen ligger i en miljö med våt sand en meter över grundvattennivån och 30 cm under markytan. Äskekärr II ligger under ett tungt lager lera och några decimeter under nuvarande grundvattennivå. Detta ger två exempel på platser för *in situ* bevaring som har väldigt olika förhållanden. Båda skeppen ligger ungefär 20 cm från ytan, men den ena ligger i våt sand och den andra i vattendränkt lera. Här kan man ställa sig frågan vilken miljö som är den bästa? Vilka mikrobiella nedbrytningstyper för trä kommer att finnas och hur snabbt kommer nedbrytningen att ske? (Björdal, 2000). Frågorna bearbetades i studien *Laboratory Reburial Experiment* av C.G Björdal och T. Nilsson (1998). En studie om bevaringen *in situ* är mer framgångsrik i en miljö med sand eller lera under 9 månader. Studien genomfördes i mull/matjord, sand och lera och visade att nedbrytning skedde i de tre miljöerna, och framförallt utav soft rot. I de miljöerna som upprättats i laboratoriemiljö fanns olika förhållanden i pH, kemi och olika fuktighetsgrad, trots det var soft rot den dominanta orsaken till angreppet i alla miljöer. Ingen nedbrytning av erosionsbakterier gick att observera men det kan förklaras med erosionsbakteriers långsamma nedbrytningstakt vilket gjorde att det var svårt att upptäcka under studiens 9 månader. Studien visade att lera och sand hade samma bevarade kapacitet.

## 1.5 Tidigare forskning

Forskningsfältet inom *in-situ* bevaring och åter-deponering av arkeologiskt trämaterial är förhållandevis ny, och det var under 1990 talet som ett forskningsfält inom frågor angående bevaring och långtidsdeponering i utomhusmiljöer tog form (Björdal, 2019). Det har resulterat i ett forskningsfält med ett tvärvetenskapligt samarbete mellan forskare från naturvetenskapen och arkeologer och konservatorer (Fors, 2014).

Avhandlingen *Waterlogged archaeological wood, Biodegradation and its implications for conservation* (2000) är ett resultat av ett projekt "Arkeologiskt trä" finansierat av Riksantikvarieämbetet, där Charlotte Gjelstrup Björdal genomförde banbrytande studier om mikrobiell nedbrytning av arkeologiskt trä i marin och terrestrial miljö.

Ett betydande forskningsprojekt genomfördes mellan åren 2002–2005 då Europeiska kommissionen finansierade ett vetenskapligt projekt med titel "*Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites*" Eu-nummer EVK4-2001-00043 med arbetstiteln "*Bacpoles*". Projektet har haft fokus på bakteriell nedbrytning och hur man kan minska deras aktivitet (Klaassen, 2005). Den bakteriella nedbrytningen kunde simuleras genom laboratorieexperiment, där undersöktes rollen som syre och den kemiska kompositionen i sedimenten hade för inverkan på erosionsbakterier (Gelbrich et al., 2012).

I Danmark har ett betydande forskningsarbete gjorts av David Gregory och Henning Matthiesen som presenterats i artikeln *Nydam Mose: In Situ Preservation at work* (2013). Vid Nydam Mose har flera tusentals arkeologiska fynd gjorts efter flera genomförda utgrävningar. Efter utgrävningen mellan åren 1989–1997, då över 16 000 fynd gjordes, så beslutades att ingen vidare utgrävning skulle ske på grund av konserveringskostnaderna för den stora volymen föremål. Man utforskade istället möjligheten för att kunna bevara fynden *in situ*. Nydam Mose blev början på en systematisk forskning om bevaring på land av vattendränkt arkeologiskt trä av Nationalmuseum i Danmark. De femton åren som följde efter beslutet -97 har allmänna riktlinjer för bevaring *in situ* på en arkeologisk fyndplats baserats på denna forskning (Gregory and Matthiesen, 2012).

English Heritage har bedrivit ett antal projekt som syftar till att utforma riktlinjer för *in situ* bevaring i olika miljöer. Forskningen har hittills fokuserat på vattendränkta miljöer och de hydrologiska förhållandena som främjar bevaring av organiskt material (Corfield, 1996). Undersökningar av de kända teatrarna the Rose och the Globe från 1600-talet i Londonmiljöer som ligger belägna vid floden Themsen, representerar det första exemplet på en större hydrologiskt övervakningsprogram i en komplex stadsmiljö. En utgrävning på slutet av 1980-talet genomfördes för att skapa en plan för en byggnadsutveckling samt åter-deponi och en *in situ* bevaring planerades (Corfield, 2004). För att kontrollera att hydrologin och vattenkemin förblev stabilt för att verka bevarande skedde en övervakning av markmiljön genom experiment av English Heritage (The Rose) och av Museum of London (The Globe) (Caple, 1994)

En viktig del av arkeologiska fynd som gjorts i Storbritannien har hittats i våtmarker och genom English Heritage har en rad studier bedrivits. Det första projektet genomfördes i Somerset Levels and Moors (Bunning, 1997). Stenåldersträbanan *Sweet Track* byggdes i Somerset moors för att förenkla kommunikation över områden av våtmark för att underlätta utforskningen av våtmarksresurser (Coles and Coles, 1986). Sweet track är den äldsta träbanan i Europa och en del av banan bevaras idag *in situ*. Ett aktivt hydrologiskt system finns placerat, utformat för att förhindra uttorkning på träbanan (Bunning et al., 2000) Flera projekt och utgrävningar har gjorts genom åren av The sweet Tracks, R. Bunning artikeln *An in situ preservation project in Somerset* (1997) där English Heritage projektet som syftar till att analysera tillståndet för träbanan och få en större förståelse för hydrologin hos den omgivande torven. Ett annat projekt finansierat av English Heritage *Saving the sweet Track: The in situ preservation of a Neolithic wooden trackway, Somerset, UK* inrättades för att utvärdera monumentets tillstånd och effektiviteten av bevaringsåtgärderna. Resultatet har visat att även om

banan är mycket försämrade, besitter den fortfarande en rik arkeologisk information. Träets försämrade tillstånd har troligtvis skett gradvis under flera tusen år men nuvarande bevaringsåtgärder borde kunna säkerställa dess fortsatta överlevnad (Brunning et al., 2000).

## 1.6 Problemformulering och frågeställning

Trä som bevaras i terrestra miljö påverkas av fukt, djup, temperatur och jordmånens komposition. Dessa faktorer påverkar i sig biologisk nedbrytning av träet (Björdal, 2000).

Där det finns möjlighet att täcka över ett fynd genom metoden *in situ* finns det en osäkerhet om det är den bästa metoden att använda. Det finns en brist i biologiska och kemiska fakta angående bevaring av fynd i vattendränkta syrefattiga miljöer och den begränsade forskningen gör det omöjligt att förutspå en stabil miljö (Capel, 1994).

För att kunna ge mer tillförlitliga rekommendationer angående bevarande åtgärder i den bästa möjliga miljön så behövs mer forskning inom området. Metoder behöver utvecklas för att kontrollera hur framgångsrik *in situ* bevaring är, och en väldigt enkel metod är att göra likt fallet med Kronholmskoggen och placera biosensorer intill fyndet i marken. Det är relativt enkelt att efter en viss tid återhämta dessa och sedan utvinna viktig information. Biosensorerna som ligger intill Kronholmskoggen är friskt trä av furu, och den nedbrytning som man kan tänkas observera har uppstått i samma miljö som vraket bevarats i under de senaste 25 åren (Björdal, 2020).

*Frågeställningarna är:*

- Vilka biologiska nedbrytningsprocesser kan observeras i biosensorerna?
- Hur ser förhållandena ut i miljön kring Kronholmskoggen ur ett bevarandeperspektiv?

## 1.7 Syfte och målsättning

Målet är att genom litteraturstudier få en inblick i in-situ problematiken och teoretiskt förstå vilka nedbrytningsprocesser som arkeologiskt trä kan utsättas för i olika *in situ* miljöer. Speciellt fokus ges Kronholmskoggen på Gotland där arkeologisk upptagning av biosensorer skulle ha ägd rum våren 2020 och en av dessa skulle ha undersökts i detta ex-jobb för att ge information om hur just denna *in situ* bevaringsmetod fungerade i praktiken efter 25 år.

Syftet med uppsatsen är att i teorin genomföra undersökningen av biosensorer, och beskriva de olika stegen i undersökningen och analysen. Därefter presenteras och diskuteras tre möjliga och fiktiva resultat. Slutsatser diskuteras för att skapa en uppfattning om Kronholmskoggens miljö och tillstånd, och om man kan rekommendera att vraket fortsätter att ligga kvar på denna plats.

## 1.8 Avgränsning

På grund av den rådande pandemin i världen orsakat av viruset covid-19 kommer inga praktiska undersökningar kunna genomföras. Uppsatsen avgränsas därför till en teoretisk litteraturstudie.

Majoriteten av arkeologiskt material som funnits i vattendränkta miljöer har visat mikrobiell nedbrytning (Singh, 2012). I denna studie studeras endast angrepp av mikroorganismerna rötsvampar och bakterier och inga andra direkta och indirekta orsaker. Vid en *in situ* bevaring så övertäcks materialet på sin fyndplats (Björdal, 2000). Denna studie fokuserar på *in situ* bevaring som skett i en terrester miljö, detta då studieobjektet Kronholmskoggen idag bevaras i en sådan miljö.

## 1.9 Teoretisk referensram och etisk utgångspunkt

I boken *Archaeological wood, properties, chemistry and preservation* beskriver Florian (1990) de etiska förhållningarna en konservator bör beakta vid ett beslut av en konserveringsåtgärd. I konserveringsyrket måste beslut fattas som bygger på professionell etik. Det måste finnas kunskap om material, metoder och magasinering. Konservatorns metoder och behandlingar får inte förstöra objektets integritet, det estetiska och undersökningspotential. Och i största mån använda reversibla metoder. Besluten om en konserveringsmetod bör vara baserat på att undvika en förändring i dimensionen, för att långtidsstabilisera och bevara forskningsinformation (Florian, 1990).

Vid upptäckten av ett arkeologiskt fynd är det av stor betydelse att undersökaren utarbeta en strategi för hur fynden ska tas om hand (Riksantikvarieämbetets föreskrifter för uppdragsarkeologi, KRFS 2007:2). Konservatorn bör vara delaktig redan i upprättandet av undersökningsplanen för att konserveringsarbetet ska kunna ske med den högsta kostnadseffektivitet som det går uppånda och med det bästa slutresultatet som är möjligt. Vid frågor kring vård och *in situ* bevarande av fornlämningar i vattendränkta miljöer är det nödvändigt med en konserveringsteknisk kompetens eftersom det i en stor utsträckning är ett naturvetenskapligt arbetsfält (Borssén, 2008).

Majoriteten av arkeologiskt trä som funnits i vattendränkta miljöer har visat mikrobiell nedbrytning framförallt angrepp av erosionsbakterier, tunnlande bakterier och soft rot (Singh, 2012). Man vet idag att syre är den viktigaste faktorn att kontrollera vid en *in situ* bevaring för att undvika mikrobiell nedbrytning. En syrefattig vattendränkt miljö bör fungera för en långtidsbevaring (Björdal, 2000). Från en konservators utgångspunkt är det viktigt att förstå vilken typ av nedbrytning som sker i det arkeologiska träet innan beslut om konserveringsåtgärd kan tas. Genom att undersöka nedbrytningen kan man få fram viktiga fakta om historien av en miljö, och kan bidra med information till arkeologerna (Björdal and Nilsson, 1998).

## 1.10 Källor

Litteraturen som främst används i uppsatsen är böcker och vetenskapliga artiklar. Några källor som använts är rapporter som publicerats av Riksantikvarieämbetet, vilka saknar författarförteckning och där RAÄ står för innehåll och publikation. En ansökan till Riksantikvarieämbetet om ett FoU-anslag för projektet för att återhämta biosensorerna från Kronholmskoggen har använts som källa angående projektet för utgrävningen av biosensorer.

Artiklar är hämtade från ICOM-CC WOAM (wet organic archaeological materials) 1998, vilket är en konferens och mötesplats att utbyta kunskap och forskning för professionella konservatorer.

## 2 Material och metod

### 2.1 Kronholmskoggen, ett medeltida vrak

Sommaren år 1995 gjordes fynd av lämningar av ett medeltida fartyg på en golfbana vid Kronholmen på Gotlands västsida (Rönaby, 1996). Mellan Kronholmen och fastlandet var det förr ett sund som var farbart även under 1200-talet. På kartor från 1600-talet går det att se att ett smalt sund fortfarande finns kvar, men på 1700-talet verkar sundet vara helt uppgrundat och översandat. I närheten från sundet har man hittat senvikingatida hamnkonstruktioner, och västergarnsvallen med två medeltida kyrkor och en kastal (RAÄ, 2018). Det tidigare sundet mellan Kronholmen och västergarnområdet uppgrundades genom en naturlig landhöjning som påskyndades genom sandsättningen. En nivåskillnad på minst en meter går att se (Zerpe, 2003). Efter upptäckten 1995 erhöles ett anslag för att genomföra en förundersökning som leddes av Johan Rönaby. Syftet med undersökningen var att visa på skeppets storlek och bevarandegrad, man önskade också att utreda fartygstyp, datering och byggplats. Lösa delar skulle tas tillvara på samt tillsvidare säkra och ge skydd till de delar av skeppet som blottlagds (RAÄ, 2018). Inte långt efter upptäckten genomfördes en utgrävning där man fann lämningar som kölstock, några bordplankor och en del stäv, se fig.9, (Rönaby, 1996). Man hittade Kronholmskoggen relativt ytligt under ett organiskt leryttjelager som efterhand täckts genom översandning (Zerpe, 2003).



Fig.9 Kronholmskoggen Foto © J. Rönaby



Fig.10 Kronholmskoggen Foto © J. Rönaby

Det fartygsskrov som hittades visade sig vara en ca 15 meter lång medeltida kogge. En förenklad skiss av en medeltida kogge kan ses i fig.11. Ett fartyg gjort för handel i den nya medeltiden där vikingatågen upphört och de fria borgarna i städerna istället fraktar handelsvaror på lastfartyg. Ett drag hos den medeltida koggen som skiljer sig extra från de andra europeiska skeppsmodellerna under medeltiden är den platta kravellbyggda botten, där man lade botten kant i kant istället för i en överlappning. För att datera Kronholmskoggen så genomfördes en Kol-14 analys på mossa och matavfall så som ben, som hittats i samband med den begränsade utgrävningen. Kronholmskoggen daterades till första hälften av 1200-talet (Rönaby, 1996).



Fig.11 En skiss över en medeltida kogg. Foto © J. Rönnby

Efter utgrävningen och undersökningen användes blöt lera och sedan sand för att täcka de exponerade skeppsdelarna, en så kallad *in situ* bevaring. De lösa fynddelar som tagits upp åter-deponerades på platsen (RAÄ, 2018). Kronholmskoggen sjönk troligtvis snabbt ner i en syrefattig miljö. Man gjorde en undersökning (i samband med utgrävningen 1995) genom mikroskopering av prover av furu från vraket som visade en övergripande nedbrytning av erosionsbakterier (Björdal et al, 1999).

## 2.2 Biosensorer

I samband med övertäckningen av Kronholmskoggen, 1995, och åter-deponering av de lösa fynden så deponerades även nya friska träprover så kallade biosensorer intill skrovet i provschakten år 1995, se fig.12. Det är ovanligt att nya träprover deponeras tillsammans med arkeologiska fynd, och att detta nu dessutom befunnit sig i samma miljö i 25 år som Kronholmskoggen ger ett unikt tillfälle att utvärdera närmiljön vraket finns i. Det gavs en möjlighet med hjälp av finansiering från Riksantikvarieämbetets FoU-anslag, att år 2020 återvända till Kronholmskoggen för en utgrävning av biosensorerna. Genom att undersöka den biologiska nedbrytningen hos biosensorerna kan en bild av närmiljön runt vraket och hur det sett sig under 25 år tas fram, och därmed kan man således göra en av de första långtidsevalueringarna för att förstå hur effektiv *in situ* bevaringen på denna plats är (Björdal, 2019).

Tre biosensorer på ca 2 cm x 2 cm x 20 cm placerades på samma nivå under sand och sediment intill Kronholmskoggen (Björdal,2020). En av dessa tre biosensorer skulle undersökas i denna studie. Eftersom de tre ligger på samma nivå och i samma miljö kan man förvänta sig att resultaten kan vara liknande på alla tre biosensorerna.

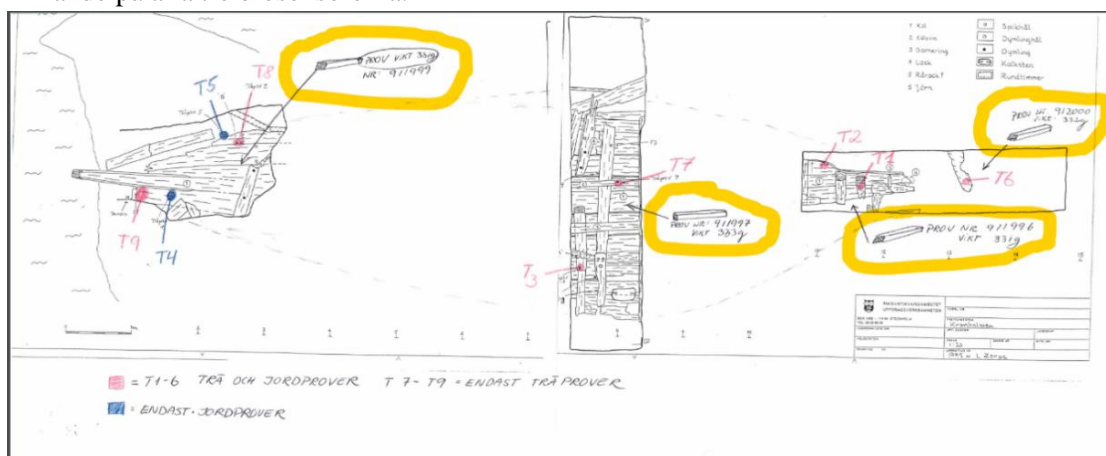


Fig.12 Skiss över biosensorerna placering vid deponering intill skrovet på Kronholmskoggen. Foto © C. Björdal



## 2.3 Metod

Följande metoder är gängse vid en inledande analys av arkeologiska träfynd. På grund av covid-19 har de ej kunnat genomföras i denna studie men beskrivs teoretiskt.

Metoderna är: *Nåltestet*, *Ljuskroskop* och *Umax* (*max. water content in present*).

Metoderna har testats och genomförts under konservatorutbildningen.

### 2.3.1 Provmaterial

Genom att använda ett rakblad delas Biosensor 1 upp på mitten till två mindre bitar V (vänster) och H (höger). För prov till ljuskroskopering tas ett prov från insidan av bit H och dessa till 2 delar, Prov A och Prov B, kuber 0,5 cm x 0,5 cm x 0,5 cm, se fig.13.

Prover till Umax tas från bit V (2 cm x 2 cm x 10 cm), 3 provbitar från ytterkanten och in mot mitten träbiten på 0,5 cm x 0,5 cm x 1 cm, prov 1a, 1b, 1c. 3 prov togs med samma mått innanför ytterkanterna likt Prov A och B, prov 2a, 2b, 2c.

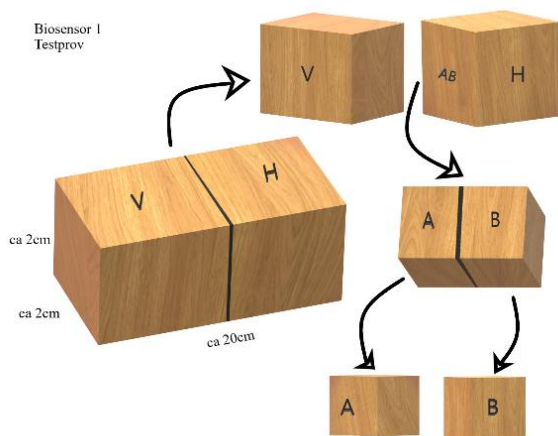


Fig.13 visar hur prov A och B kommer tas från biosensor 1



Fig.14 Visar nålar som satts i provmaterial under testet för att undersöka sönderfallande zoner.  
Foto © S. Hardselius

### 2.3.2 Nåltestet

Nåltestet är ett enkelt sätt att försöka skapa en uppfattning om tillståndet - nedbrytningsgrad och densitet.

En kraftig nål eller ett nålliknande föremål sätts vertikalt i biosensorns yta innan den delats upp i mindre provbitar. Man sätter nålen med samma kraft och studs i varje stick. Nålen flyttas systematiskt över ytan från utsidan till insidan. En variation i mjukhet känns och ger en indirekt uppfattning om densiteten. Skarven mellan mjukt och fast markeras genom att låta nålen stanna och sitta kvar i materialet, se fig.14. En skiss på papper av de olika ytornas fasthetsgrad på träprovet görs (Björdal et al., 2000).

### 2.3.3 Ljuskroskop

Ljuskroskop med genomlysande belysning utrustat med polarisation och interferenskontrast, med 600 i maxförstoring. Ljuskroskopering är en användbar metod för identifikation av träarter och mikrobiella angrepp. Spår från angrepp som lämnats genom århundraden kan efter infärgning

framgångsrikt identifieras i ett ljusmikroskop, och olika typer av nedbrytning har sina olika morfologiska drag som identifieras (Björdal et al., 1999). Genom att använda polariserat ljus kan man framhäva rester av kristallin cellulosa (Blanchette et al., 1990).

På proverna A och B så används ett rakblad för att skära tunna snitt för hand i alla riktningarna – tvärsnitt, radiellt snitt och tangiellt snitt, se fig 15. Alla proverna färgas sedan in med antingen:

- 1 % w/v safranin i etanol, eller 1% safarin i glycerol: Infärgningen för att framhäva mikromorfologin i trä. Vanligt vid tvärsnitt.
- 0,1% blå anilin i 50 % mjölksyra: Infärgning för att färga mikroorganismer - svamphyfer och bakterier.

Alla prover observeras. Mikroskoperingen börjar på lägsta förstoringen och studeras till maxförstoring x60. Polariserat ljus används för att visa på kristallin cellulosa, för att kunna upptäcka nedbrytning (Björdal et al., 2000). Oftast används polariserat ljus i tvärsnitt (Hoffmann and Jones, 1990).

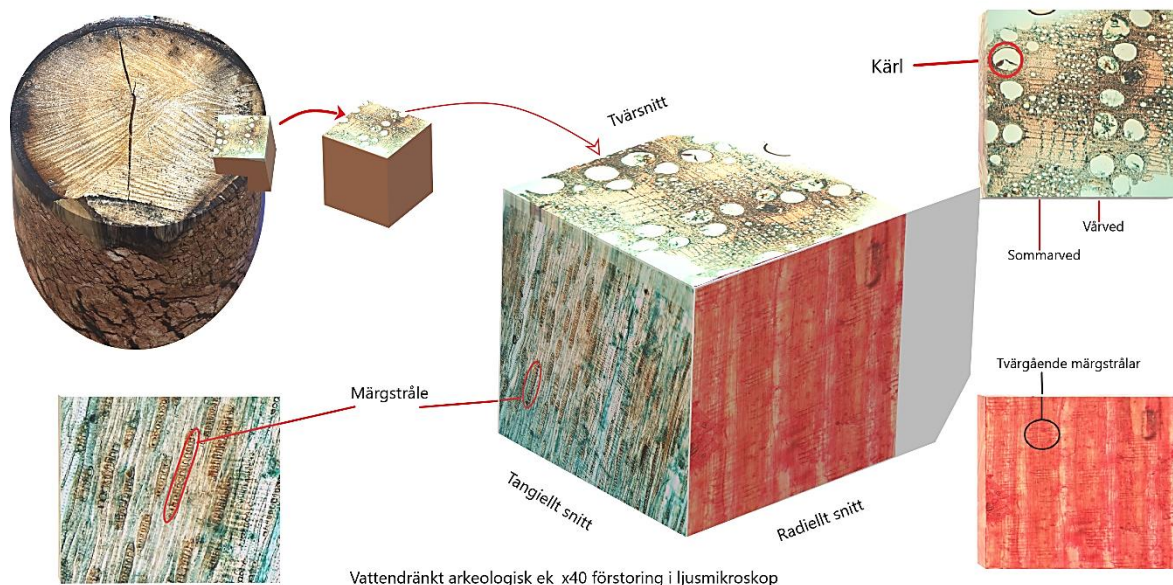


Fig.15 visar de olika snitt som används vid ljusmikroskopering. © S. Hardselius

### 2.3.4 Umax

U<sub>max</sub> används ofta inom konservering för att utreda nedbrytningsgrad, där ett högt värde på U<sub>max</sub> visar på att vatten tas upp i cellerna på grund av nedbrytningsangrepp (Hofman, 1994).

Proverna 1a-c och 2a-c placeras i kranvatten under två veckor för att säkerställa att proverna är helt vattendränkta och inga luftfickor finns kvar i träet. När proverna är helt vattendränkta vägs dem för att etablera dess våtvikt. Proverna torkas sedan i 104°C i 24h i en värmeugn. Proverna får svalna till rumstemperatur i en exikator med blågel och vägs sedan igen. Procentsatsen av U<sub>max</sub> räknas sedan ut med formeln:

$$\frac{\text{våtvikt} - \text{torrvikt}}{\text{torrvikt}} \times 100 = U_{\text{max}} \%$$

(Hoffmann, 1984)



### 3. Resultat

Nedan kommer 3 olika scenarier och fiktiva undersökningsresultat av mikrobiella angrepp och nedbrytning att presenteras.

**Resultat 1:** Erosionsbakterier visade sig vara den mikroorganism som var huvudorsaken till nedbrytningen. Proverna visade typiska nedbrytningsfunktioner som orsakas av erosionsbakterier, se fig 7. I ljusmikroskop observerades den karakteristiska nedbrytningen orsakade av erosionsbakterier, då bakterier bryter ned vissa partier av vedstrukturen och lämnar cellerna ”tomma” med endast delar av cellväggen och speciellt mittlamellen kvar som ett skelett.

**Resultat 2:** Tunnlände bakterier och soft rot var tillsammans den största orsaken till nedbrytning. Under ljusmikroskop kunde nedbrytningsmönster observeras samt hyfer från soft rot svampar, se fig.6. Soft rot var observerat i de ytliga lagren av proverna men också som mer omfattande nedbrytning av veden. I tvärsnitt i ljusmikroskop kunde håligheter från hyferna observeras i S<sub>2</sub> lagret.

**Resultat 3:** Brunröta och vit-röta observerades som den största orsaken till nedbrytning. Träproverna visade sig en omfattande nedbrytning. Brunrötaangreppen var omfattande där vedstrukturen var lös och uppdelade i fragment, se fig. 5. Vid identifikation av vit-röta i tvärsnitt i ljusmikroskop kunde man se att hela cellväggens komponenter är nedbruten inklusive mittlamellen, se fig.4.

### 4. Diskussion och Slutsatser

#### 4.1 Diskussion

Resultaten kan ge en indikation på vad som sker med Kronholmskoggen och hur man ska förhålla sig till den åtgärd som gjorts för 25 år sedan då beslutet togs att bevara vraket på dess fyndplats. Något man ska bära med sig i metoden att placera nya friska träprover vid fyndet, som de som placerades invid Kronholmskoggen, är att det friska träet kommer att påverkas annorlunda än det arkeologiska trä som redan utsatts för angrepp av mikroorganismer (Björdal et al., 2000). Detta är en invändning att ta med i beräkningen i metoden. Men samtidigt är det svårt att använda arkeologiskt trä som provmaterial, tillgången och tillgängligheten, och den redan befintliga nedbrytningen. Men man kan fortfarande utvinna viktig information om miljöns tillstånd och därför få en uppfattning om fyndets bevarande miljö, är den bevarande eller för destruktiv för objektet. Är den så destruktiv att man borde flytta på föremålet, antingen till annan plats eller för att konserveras med en annan metod?

Oftast sker nedbrytningen i en kombination med flera olika mikrobiella organismer, men resultaten pekar ut den primära orsaken till angrepp. Även att visa på att ett minimalt angrepp från en mikroorganism kan vara av stor vikt då det kan berätta om till exempel syrenivåerna i miljön (Björdal et al 1999).

#### *Resultat 1*

I resultat 1 där det i det fiktiva scenariot fastställs att den mest omfattande nedbrytningen orsakats av erosionsbakterier. Angrepp av erosionsbakterier kan visa att träet är nedbrutet genom hela vedens vävnad. Erosionsbakterier klarar av miljöer med en låg syrehalt och blir därför en effektiv nedbrytare i tuffa miljöer där andra vednedbrytande mikroorganismer har svårt att trivas. Ett angrepp av erosionsbakterier tyder på att miljön är vattendränkt och mycket syrefattig och rötsvampar är frånvarande (Blanchette et al., 1990).

Ett sådant scenario skulle bjuda för att det är en framgångsrik bevaring. Erosionsbakteriernas nedbrytning sker långsamt till skillnad från angrepp från svampar (Björdal, 2000). Objektet finns också i en vattendränkt miljö vilket betyder att de nedbrutna cellerna håller sin dimension genom att

vattenfyllas och vaden kan behålla sin struktur utan att riskera att torkas ut och helt tappa sin struktur och sitt historiska värde (Fors, 2014).

### Resultat 2

I resultat 2 består det fiktiva scenariot av angrepp från tunnlande bakterier och soft rot svampar. Dessa två angripare behöver en högre syrehalt än erosionsbakterier, men klarar mindre syrekoncentrationer än brunröta och vit-röta (Blanchette et al., 1990). Om dessa två är den största nedbrytningsfaktorn kan det indikera att det antagligen sker en snabbare nedbrytning än i resultat 1. Soft rot kan med rätt förutsättningar orsaka en stor nedbrytning på kort tid (Blanchette et al., 1990).

Detta betyder då att det finns en högre nivå av syre än i scenario 1. Finns det då en risk för att det skulle kunna vara för hög syrehalt i den terrestra miljön? Vid för hög syrehalt kan brunröta komma att trivas och orsaka en snabb nedbrytning. Soft rot kan också orsaka stor nedbyting på kort tid (Blanchette et al., 1990) och detta bör undvikas under en långtidsbevaring.

### Resultat 3

I resultat 3 består det fiktiva scenariot av brunrötaangrepp och vit-rötangrepp i biosensorerna. Brunröta och vit-röta är i behov av en miljö med tillräckligt mycket syre, observationer har visat att det är begränsade angrepp i vattendränkta miljöer. Brunrötasvamparna finns enbart i terrestra miljöer och det finns inga rapporter om brunröta i marin miljö (Nilsson, 1998). Även om träföremålen påträffas i vattendränkta miljöer så kan det finnas andra mikrobiella angrepp, dessa angrepp kan ha skett innan föremålet hamnade i den vattendränkta miljön, alltså från en tid ovan mark (Björdal, 1999). Detta scenario kan inte ha skett i detta fall eftersom de deponerade biosensorerna var friska träbitar och angrepp från brunröta och vit-röta kan inte ha förekommit. Det visar snarare på att mycket syre finns tillgängligt. Vid angrepp från både brunröta- och vit-rötsvampar går nedbrytningen fort och tyder på en mycket aggressiv miljö på platsen och Kronholmskoggen ligger inte bra bevarad i sin fyndmiljö. Åtgärd borde vidtas snarast för att säkerställa vraket.

Hela poängen med att systematiskt forskning och kartläggningen för en *in situ* bevaring är för att skydda kulturarvet (Gregory and Matthiesen, 2012). Ett allvarligt visat angrepp från brunröta, vit-röta, och även soft rot på biosensorerna skulle kunna betyda ett stort sönderfall av Kronholmskoggen. En sådan eventuell nedbrytning skulle kunna innebära att vrakets tillstånd nu idag är illa, men om så är fallet kan det fortfarande likt Sweet Track, som också visat ett stort sönderfall genom åren, fortfarande inneha rik arkeologisk information (Brunning et al., 2000).

Om resultatet istället visar sig att erosionsbakterier är den mest närvarande angriparen i biosensorerna kan man hoppas på att Kronholmskoggen är i ett bättre tillstånd och mer välbevarat, och att de senaste 25 åren eventuellt varit en lyckad långtidsbevaring.

I studien *Laboratory Reburial Experiment* av C.G Björdal och T. Nilsson (1998) studeras bevarandemiljöer av lera och sand baserat på fallet Äskekärr II och Kronholmskoggen. Studiens resultat visade att de två markmiljöerna hade samma bevarandekapacitet. De visade också att soft rot var den största representerade nedbrytaren, då experimentet skedde under en begränsad tid är det svårt att dra slutsatser om erosionsbakterier eftersom angreppen sker långsamt. Vid utgrävningen 1995 visade en undersökning att Kronholmskoggen förmodligen sjönk snabbt till en syrefattig miljö och provmaterial från Kronholmskoggen i mikroskop visade att det fanns en övergripande nedbrytning från erosionsbakterier (Rönneby och Zerpe, 1995; Björdal et al, 1999). Med vad denna bakgrundsinformation av tidigare forskning och undersökning, samt annan tidigare forskning inom området, visat kan det finnas eventuella förväntade resultat av vad undersökningen av biosensorerna kommer att ge. I en bevarande miljö av sand finns risk att soft rot är en stor angripare, samtidigt har en tidigare undersökning av vraket berättat om en övergripande befintlig nedbrytning från erosionsbakterier. Kan utgrävningen 1995 påverkat vraket negativt genom att utsätta det för en

exponering av luft och därmed syre under en period? Hur har markförhållandena förändrats sedan sist de undersöktes 1995?

Vad resultat av undersökningarna av biosensorerna kommer att ge återstår att se. Det kommer förhoppningsvis kunna tala om i vilken miljö vraket befinner sig i och slutsatser kan dras om dess nuvarande tillstånd. Det kommer bli en första utvärdering av att använda biosensorer under en lång exponeringstid i en långtidsbevaring i en terrestra miljö och ett steg i att utforma vidare kontrollerande metoder för *in situ* bevaring.

## 4.2 Slutsats

Arkeologiskt trä återfinns, oftast till synes välbevarat, i vattendränkta miljöer. Kronholmskoggen hittades i en terrastrial miljö. Miljön på fyndplatsen styr förutsättningar för en lyckad långtidsbevaring. En vattendränkt anaerob miljö skyddar föremålet från svampangrepp och tunnlande bakterier som behöver en högre syrehalt för att kunna växa. Erosionsbakterier är den mikroorganism som står för den största nedbrytningen i vattendränkta miljöer då den, till skillnad från de andra mikroorganismerna, klarar en syrefattig miljö. Syret är den största faktorn för vilka mikroorganismers angrepp som dominerar. Andra faktorer bör också räknas med i ekvationen så som träslag, vilken storlek på objektet, vattnets näringsinnehåll och grundvattennivån samt vilken metod som används vid övertäckningen. Djupet vid en *in situ* bevaring har betydelse i förhållande till vattennivå och syretillgång. Vilken typ av jord är också viktig, och vilken hydrauliska konduktivitet som miljön besitter (Björdal och Nilsson, 2000; Holden et al., 2006).

Det är dyrt att konservera stora arkeologiska träobjekt och genom att långtidsbevара i sin fyndmiljö kan man som T. Nilsson (1998) nämner att genom en lyckad *in situ* bevaring senare kunna undersöka objektet med mer moderna sofistikerade analysmetoder.

Undersökningen som fiktivt har gjorts i denna uppsats om vad biosensorerna kan visa, om det är en metod som ger så pass mycket information om långtidsbevaring att man kan dra slutsatser om den är lyckad och bör användas igen återstår att se. Det är en billig och en enkel metod att genomföra för en utvärdering av långtidsbevaring i en terrester miljö.

## 4.3 Framtida forskning

Att genomföra framtida studier av långtidbevaring genom *in situ* i olika terrestra miljöer kan bidra med mer information för hur objekt i sin ursprungliga fyndmiljö bäst bevaras. Varje fyndplats är unik. Även forskning för att utveckla metoder för att kunna kontrollera om bevaringen är framgångsrik över en längre tid behöver utredas och utvecklas.

Fler studier behövs inom området för att kunna ge optimala och säkra rekommendationer för den bäst lämpade bevaringsmiljön.

## 5. Sammanfattning

Större arkeologiska träföremål så som ett skeppsvrak, är kostsamma att gräva ut och konservera, och tidigare har arkeologiskt trämaterial övergivits eller till och med bränts pga. bristande ekonomi. Det har skett ett ökat intresse för att bevara arkeologiskt trä som en källa till historisk information. Metoden *in situ* bevaring kan vara en väg att gå för att långtidsbevara fyndet i sin fyndmiljö. Genom att bevara *in situ* så kan det betyda att fyndet fortfarande finns bevarat för framtiden för att senare kunna undersökas med mer moderna sofistikerade analysmetoder.

Majoriteten av arkeologiskt trä som påträffats i vattendränkta miljöer har visat mikrobiellnedbrytning. Man vet idag att syre är den viktigaste faktorn att kontrollera vid en *in situ* bevaring för att undvika angrepp från mikroorganismer. En syrefattig vattendränkt miljö bör fungera för en långtidsbevaring.

Vraket Kronholmskoggen finns bevarat på sin fyndplats på en golfbana på Gotland. År 1995 påträffades vraket och en utgrävning och dokumentation genomfördes av ett team av arkeologer och konservatorer. Vraket bevarades *in situ* och tillsammans intill skrovet deponerades nya 4 friska träprover för att i framtiden kunna göra en analys över miljön vraket finns bevarat i. Detta ger en unik möjlighet i att efter 25 år studera hur långtidsdeponi fungerar i praktiken.

Syftet med uppsatsen är att i teorin genomföra undersökningen av en biosensor, och beskriva de olika stegen i undersökning och analysen. Tre metoder användes teoretiskt i undersökningen, *Nåltestet*, *Ljusbiosensor* och *Umax*. Härfter presenteras och diskuteras tre möjliga och fiktiva resultat. Slutsatser diskuteras för att skapa en uppfattning om Kronholmskoggens miljö och tillstånd, och om man kan rekommendera att vraket fortsätter att ligga kvar på denna plats.

I de fiktiva resultaten visade *resultat 1*, att erosionsbakterier stod för den största mikrobiella nedbrytningen, i *resultat 2*, Soft rot och tunnlande bakterier och i *resultat 3*, visade att brunröta och vit-röta var huvudorsaken. Miljön på fyndplatsen styr förutsättningar för en lyckad långtidsbevaring. En vattendränkt anaerob miljö skyddar föremålet från svampangrepp och tunnlande bakterier som behöver en högre syrehalt för att kunna växa. Erosionsbakterier är den mikroorganism som står för den största nedbrytningen i vattendränkta miljöer då den, till skillnad från de andra mikroorganismerna, klarar en syrefattig miljö.

## 6. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

### 6.1 Otryckta källor

Informant 1: Charlotte G. Björdal, Professor, institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet. Samtal: 4/5 2020

BERGLUND, M. 2017 *Skogsskötselserien nr 12, Skador på skog, DEL 1 Skogsskador i skogens olika utvecklingsstadier*. Skogsstyrelsen [www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien](http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien) 2017

### 6.2 Tryckta källor

BJÖRDAL, C. 1999. Trämateriäl–historiskt och arkeologiskt. I: Fjæstad, M. (red.) *Tidens tand : förebyggande konservering : magasinshandboken*. Stockholm: 30  
Riksantikvarieämbetet, 113-127

BJÖRDAL, C. 2019. *Evaluering av Kronholmskoggens status efter 24 års aktiv in-situ bevaring Gotland*: Riksantikvarieämbetet

BJÖRDAL, C., DANIEL, G. & NILSSON, T. 2000. Depth of burial, an important factor in controlling bacterial decay of waterlogged archaeological poles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45, 15-26.

BJÖRDAL, C. G. 2000. *Waterlogged archaeological wood : biodegradation and its implications for conservation*. Diss. (sammanfattning) Uppsala : Sveriges lantbruksuniv.

BJÖRDAL, C. G. & NILSSON, T. 1998. *Laboratory reburial experiments*. Proceedings of the 7th ICOM-CC working group on wet organic archaeological materials conference, Grenoble, France= Actes de la 7ème conférence du groupe de travail Matériaux archéologiques organiques humides de l'ICOM-CC, Grenoble, France, 71-77.

BJÖRDAL, C. G., NILSSON, T. & DANIEL, G. 1999. Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden Applicable to archaeology and conservation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 43, 63-73.

BLANCHETTE, R. A., NILSSON, T., DANIEL, G. & ABAD, A. 1990. Biological degradation of wood. ACS Publications. In: Rowell, R.M. Barbour, R.J. (eds.) *Archaeological Wood : Properties, Chemistry and Preservation*. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 3-32. DOI: 10.1021/ba-1990-0225

BORSSÉN, C. 2008. *Kulturmiljövård under vatten: en rapport till vägledning för arkeologer och handläggare verksamma inom kulturmiljöområdet*, Riksantikvarieämbetet.

BRUNNING, R. An in situ preservation project in Somerset. Proceedings of the 6th ICOM group on wet organic archaeological materials conference, York, 9-13 September 1996, 1997. 93-100.

- BRUNNING, R., HOGAN, D., JONES, J., JONES, M., MALTBY, E., ROBINSON, M. & STRAKER, V. 2000. Saving the Sweet Track: The in situ preservation of a Neolithic wooden trackway, Somerset, UK. *Conservation and management of archaeological sites*, 4, 3-20.
- CAPEL, C., DUNGWORTH, D. & CLOGG, P. 1996. *Proceedings of the 6th ICOM group on wet organic archaeological materials conference*.
- CAPLE, C. 1994. Reburial of waterlogged wood, the problems and potential of this conservation technique. *International biodeterioration & biodegradation*, 34, 61-72.
- COLES, B. & COLES, J. M. 1986. *Sweet Track to Glastonbury: the Somerset levels in prehistory*. New York, USA
- CORFIELD, M. 1996. Preventive conservation for archaeological sites. *Studies in Conservation*, 41, 32-37.
- CORFIELD, M. 2004. Saving the Rose Theatre: England's first managed and monitored reburial. *Conservation and management of archaeological sites*, 6, 305-314.
- FLORIAN, M.-L. E. 1990. Scope and history of archaeological wood. ACS Publications. In: Rowell, R.M. Barbour, R.J. (eds.) *Archaeological Wood : Properties, Chemistry and Preservation*. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 3-32. DOI: 10.1021/ba-1990-0225
- FORS, Y. 2014. *Forsknings-och kunskapsbehov för bevarande av arkeologiskt trä: Sammanställning av kunskapsluckor inom arkeologiskt trä och kemi*, Visby: Riksantikvarieämbetet.
- GELBRICH, J., KRETSCHMAR, E. I., LAMERSDORF, N. & MILITZ, H. 2012. Laboratory experiments as support for development of in situ conservation methods. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 14, 7-15.
- GREGORY, D. & MATTHIESEN, H. 2012. Nydam Mose: in situ preservation at work. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 14, 479-486.
- HOFFMANN, P. On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG: molecular size versus degree of degradation. Les Bois Gorgés d'Eau: Étude et conservation. Actes de la 2<sup>e</sup> conférence du groupe de travail "Bois Gorgés d'Eau" de l'ICOM. Grenoble 28-31 août 1984= Waterlogged Wood: Study and conservation. Proceedings of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference, 1984. 95-115.
- HOFFMANN, P. & JONES, M. A. 1990. Structure and degradation process for waterlogged archaeological wood. ACS Publications. In: Rowell, R.M. Barbour, R.J. (eds.) *Archaeological Wood : Properties, Chemistry and Preservation*. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 111-140. DOI: 10.1021/ba-1990-0225

- HOLDEN, J., WEST, L. J., HOWARD, A. J., MAXFIELD, E., PANTER, I. & OXLEY, J. 2006. Hydrological controls of in situ preservation of waterlogged archaeological deposits. *Earth-Science Reviews*, 78, 59-83.
- KLAASSEN, R. 2005. *Final report EU project BACPOLES. Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites EU number: EVK4-CT-2001-0043*
- NILSSON, T. 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, France= Actes de la 7ème conférence du groupe de travail Matériaux archéologiques organiques humides de l'ICOM-CC, Grenoble, France, 1998. 65-70.
- PEDERSEN, N. B. 2015. *Microscopic and spectroscopic characterisation of waterlogged archaeological softwood from anoxic environments*, Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, DK
- RAÄ 2015. *Vårda väl, Att bevara vattendränkt, arkeologiskt trä*, Riksantikvarieämbetet.
- RAÄ 2018. L1975:6999 Fartygs-/båtlämning In: RIKSANTIKVARIEÄMBETET (ed.). Riksantikvarieämbetet
- REECE, J. B., URRY, L. A., CAIN, M. L., WASSERMAN, S. A., MINORSKY, P. V. & JACKSON, R. B. 2011. *Campbell biology*, Boston, Pearson.
- RODGERS, B. A. 2004. *The archaeologist's manual for conservation: a guide to non-toxic, minimal intervention artifact stabilization*, Springer Science & Business Media.
- RÖNNBY, J. 1996. *Metodstudier & tolkningsmöjligheter*, Stockholm, Avd. för arkeologiska undersökningar, Riksantikvarieämbetet.
- SAARMAN, E. 1992. *Träkunskap*, Markaryd, Sveriges skogsindustriförb. (SSIF).
- SINGH, A. P. 2012. A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments. *Journal of Cultural Heritage*, 13, S16-S20.
- SJOSTROM, E. 1993. *Wood chemistry: fundamentals and applications*, Gulf professional publishing. Academic Press, INC. California, US.
- UNGER, A., SCHNIEWIND, A. & UNGER, W. 2001. *Conservation of wood artifacts: a handbook*, Springer Science & Business Media. Berlin Heidelberg New York
- ZERPE, L. 2003. Arkeologisk Förundersökning, Kronholmen 1:3, Kronholmens golfbana, Västergarn socken, Gotland Länsstyrelsen





## 7. BILDFÖRTECKNING

**Omslagsbild.** Kronholmskoggen utgrävning 1995, Gotland Foto © Johan Rönnby

**Figur 1.** Visar *stammens uppbyggnad*. Trädguiden <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/stammens-uppbyggnad/> 2003-09-01, 2018-06-06

**Figur 2.** Foto © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 3.** Illustration Sara Hardselius, modifierad Björdal (2000)

**Figur 4.** Foto © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 5.** Foto © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 6.** Foto © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 7.** Foto © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 8.** Illustration Sara Hardselius

**Figur 9.** Kronholmskoggen utgrävning 1995, Gotland Foto © Johan Rönnby

**Figur 10.** Kronholmskoggen utgrävning 1995, Gotland Foto © Johan Rönnby

**Figur 11.** En skiss över en medeltida kogg. Foto © Johan Rönnby

**Figur 12.** Skiss över biosensorerna placering vid deponering intill skovet på Kronholmskoggen. © Charlotte Gjelstrup Björdal

**Figur 12.** Illustration Sara Hardselius

**Figur 12.** Foto © Sara Hardselius

**Figur 15.** Illustration och Foto © Sara Hardselius