

Vid tiden för bärgningen av *Vasa* var vattnet i Stockholms ström hälsofarligt. Under hundratals år hade det förorenats av diverse avfall som slängts och spolats ut av Stockholms invånare. 1943 uppmättes mängden svavelväte (H_2S) löst i vattnet utanför Beckholmen till mellan tre och åtta milligram per liter. Svavelväte är en giftig gas med en karakteristisk doft av ruttna ägg. Den kan produceras av bakterier vid nedbrytning av organiskt material, som det alltså under lång tid fanns rikligt av i Stockholms ström. I början på 1800-talet hade syrehalten i vattnet blivit så låg att laxen försvann från Stockholms ström.

En förfärlig miljö kan det tyckas, men säg det onda som inte har något gott med sig. Det är nämligen till stor del denna ogästvänliga omgivning som vi har att tacka för det utmärkta bevarandet av vårt världsunika örlogsskepp *Vasa*. I vanliga fall bryts obehandlat trä i naturen ner ganska fort av bakterier och svampar, men i det syrefattiga vattnet med höga halter svavelväte hade till och med tåliga mikroorganismer svårt att klara sig. Att de delar av skeppet som fanns ovanför bottenlammet har bevarats beror naturligtvis också på frånvaron av skeppsmask i Östersjöns bräckta vatten, liksom att *Vasa* var nybyggd och inte sliten vid tiden för förlisningen.

Nedbrytningsprocesser av träet pågick, men var mycket långsamma.

Det giftiga vattnet runt *Vasas* förlisningsplats var alltså utmärkt med hänsyn till bevarandet av skeppet och har gjort att skeppet idag är original till 95 procent. Men, den giftiga miljön har visat sig ge en sur eftersmak.

Saltutfällningar

Efter bärgning, 17 år av impregnering med konserveringsmedel, ytterligare nio år av långsam torkning och till sist ett eget, nytt museum, trodde man att *Vasa* var räddat för framtiden (bild 1). Men, hösten 2000 upptäcktes ett antal fläckvisa missfärgningar på *Vasas* trä. Fläckarna varierade från gula till vita och hade en storlek på mellan ett par centimeter upp till en halv meter i omkrets. pH-värdet uppmättes vara mycket lågt — från tre

helt ner till ett. En så sur miljö är klart olämplig eftersom cellulosan, som är en viktig byggsten i trästrukturen, bryts ner och förlorar sin hållfasthet. Analyser visade att missfärgningarna utgjordes av salter. Ett salt är i kemisk betydelse en förening mellan positivt och negativt laddade joner. Salterna i *Vasas* trä bestod av olika metaller som positivt laddade joner, och med den gemensamma

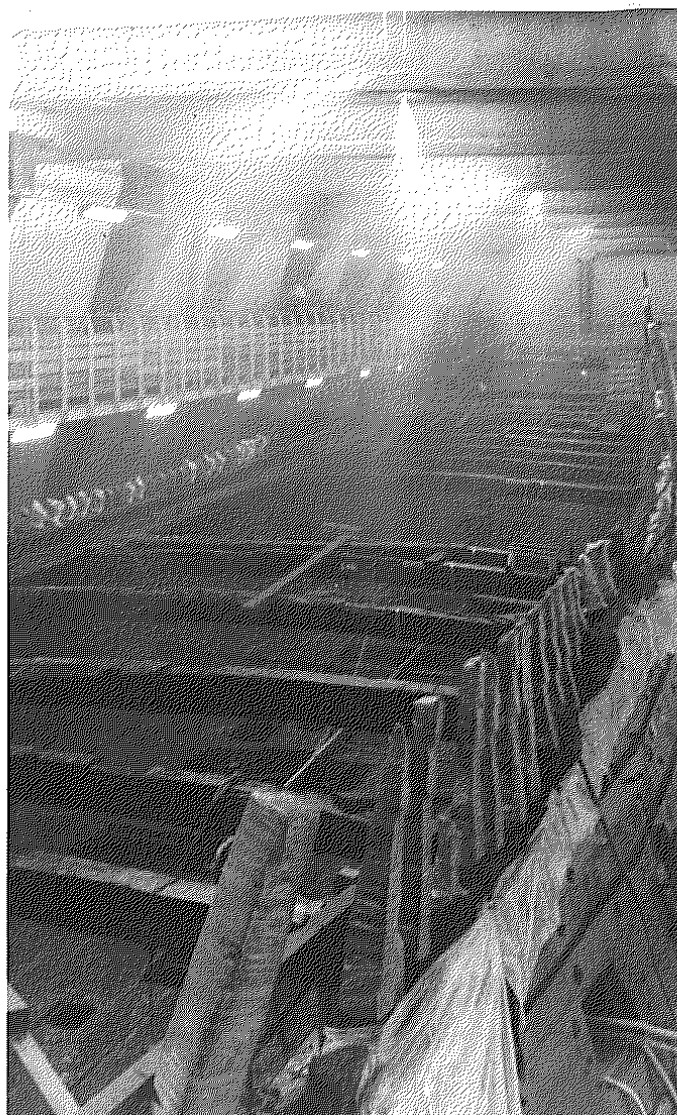


Bild 1. *Vasa* sprayades med konserveringsmedel i 17 år.



Bild 2. Kista med vita och gula saltutfällningar i stora fläckar.

negativt laddade delen sulfat (SO_4^{2-}), det vill säga en förening av svavel och syre. De vanligaste salterna i *Vasa* är natrojarosit ($\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) som ger gula fläckar liksom melanterit ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) och gips (CaSO_4) som ger vita.

Sedan man väl fått ögonen på saltutfällningarna upptäckte man bara fler och fler. Idag har drygt 1 000 områden registrerats på skeppet och även på lösa träföremål från *Vasa* har angrepp noterats (bild 2). De stora mängder svavel som vi kan se i saltutfällningarna är inte naturligt förekommande i trä, utan stammar från tiden då *Vasa* låg på botten av Stockholms ström. Där trängde det giftiga vattnet med den höga koncentrationen av svavelväte in i träet och lagrades upp som grundämnet svavel, förmodligen med bakteriers hjälp.

När *Vasa* bärgades och kom upp i luften började svavlet att sakta reagera med luftens syre och bilda den kemiska föreningen svavelsyra. Det är svavelsyran som ger det skadliga, sura pH-värdet och de ovan beskrivna sulfatsalterna. Ironiskt nog är det alltså naturens eget konserveringsmedel – svavelvätet – som orsakar den nedbrytning vi nu ser. Salterna som ligger på ytan av träet är ofarliga i sig, men indikerar att en kemisk process skett i området. Om salterna däremot faller ut under träets yta kan de göra mekanisk skada då de vid kristalliseringen kraftigt ökar sin volym och spränger träet inifrån. Det kan få till resultat att ytskiktet trycks av och faller bort, vilket är speciellt tråkigt om det sker på en skulptur eller annat föremål med bearbetningsspår efter hantverkaren (bild 3).

Pågående process

De kemiska reaktionerna och bildandet av svavelsyra har pågått ända sedan bärgningen, men har inte märkts tidigare eftersom syran successivt urlakades och sköljdes

av under de första 17 åren då *Vasa* sprayades med konserveringsmedel. Analyser har visat att bildandet av ny svavelsyra fortfarande är en pågående process. Det beräknas idag finnas omkring två ton svavelsyra i *Vasas* trä och analyser av borrhovor visar att det fortfarande finns tillräckligt med svavel, som ännu inte har reagerat med syre, för att bilda ytterligare fem ton.

Ännu är det inte klart hur snabbt träets bryts ner av syran, men sju ton svavelsyra i ett skepp som *Vasa* vore definitivt en katastrof. Utvecklingen är alarmerande och intensiv forskning pågår för att förstå reaktionsförloppen och vad man kan göra åt dem. Dessvärre är *Vasas* problem inte unika. Det finns tidigare

rapporter om liknande problem från Skuldelevskeppen i Roskilde (Jespersen 1989) och *Batavia* i Australien (MacLeod & Kenna 1990). Hur som helst finns det en mängd skeppsvrak som riskerar att hamna i samma situation som *Vasa*, om inget görs åt saken.

Genom att eliminera eller strypa de parametrar som krävs för att svavelsyran skall bildas kan man stoppa eller åtminstone avsevärt sakta ner bildandet. Parametrarna man har att arbeta med är tillgång till syre, vatten och järn. Dessutom spelar luftens temperatur en viktig roll, eftersom alla kemiska processer går fortare ju varmare det är. Temperaturen i skeppshallen hålls därför så låg som möjligt, vilket idag är 18–20° C eftersom det också måste vara behagligt för besökare och personal att vistas i museet.



Bild 3. Laggkärl med gula saltutfällningar som sprängt bort bitar av träets yta.

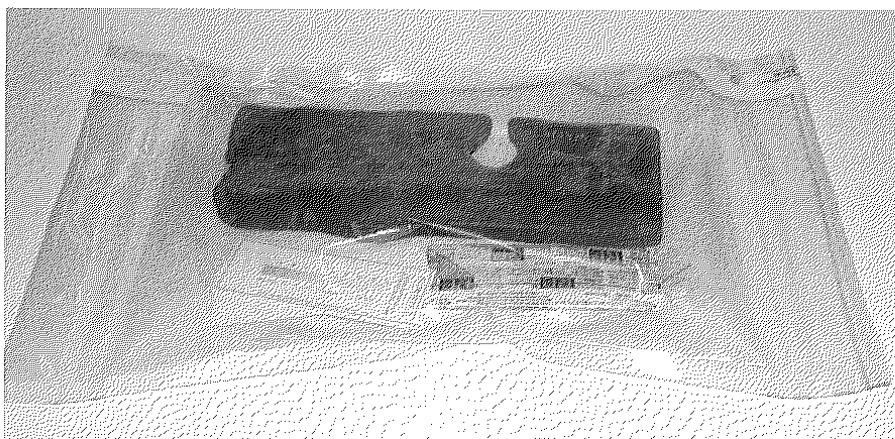


Bild 4. Mindre föremål packas in i påsar som fylls med kvävgas för att förhindra kontakt med syret i luften.

För att eliminera syretillgången i träet har det gjorts försök med att packa in mindre föremål i gastäta plastpåsar som fylls med kvävgas (bild 4). Detta är en effektiv metod som av omfångsmässiga skäl dessvärre inte är möjlig att genomföra med skeppet. En syrebarriär har dock även i andra former visat sig vara en lösnande åtgärd. Vid konserveringen av *Vasa* avslutades hela behandlingen med att ett överskott av konserveringsmedel värmdes in i trätets yta med stora varmluftspistoler. Det är denna ytbehandling som ger skeppet en blank, vaxartad yta.

Invärmningen utfördes emellertid varken på trossdäck eller i hålskeppet, där trästrukturen därför fortfarande är mer oskyddad. Vid en genomgång av skeppet är det tydligt att saltutfällningarna är fler, större och surare på dessa nedre däck, vilket förmodligen beror på att syre och vattenången i luften stått i direkt kontakt med träet. Detta har betydelse då trä upptar och avger fukt för att komma i balans med den omgivande luften. På de ytbehandlade områdena har konserveringsmedlet däremot fungerat som en fördröjande spärr när luftfuktigheten i skeppshallen har svängt upp och ner.

Järn påskyndar nedbrytningen

Förutom syret och vatten är även järn en nyckelparameter i bildandet av svavelsyra. Järnet påskyndar nämligen reaktionsprocessen. I *Vasas* trä finns det rikligt med järn efter de originalbultar i skrovet som rostade bort efter att skeppet förlöst. Järnet trängde in i trästrukturen och på många ställen i skeppet kan man se rost som en orange färgning på ytan. När man bärgade *Vasa* höll skrovet ihop tack vare tiotusentals trädymplingar, men för att stärka hållfastheten satte man efter bärgningen in cirka 5 500 nya järnbultar i de gamla hålen (bild 5). De nya bultarna var både galvaniserade och täckta med epoxi, men rostar trots allt idag i det fuktiga träet. Orsaken är troligen att det konserveringsmedel som sprayades på *Vasa* ökar korrosionshastigheten för järn, vilket man inte visste på den tiden.

Vattnet i trästrukturen ingår också i de kemiska processer som genererar svavelsyra. Genom att torka träet

ytterligare skulle man alltså både kunna hindra järnbultarna från att rosta och ny svavelsyra från att bildas. Därför har luftfuktigheten i utställningshallen sänkts från 60 till 55 procent det senaste året. Sänker man ytterligare riskerar man dock att skeppet spricker och deformeras. För att undgå problemet med de rostande järnbultarna finns det planer på att försöka byta ut dem mot ett material som inte reagerar, exempelvis titan, kolfiber eller glasfiber. För att oskadliggöra rosten

som redan trängt in i träet, görs försök med kemikalier som binder järnjonerna så hårt att de inte kan reagera med något annat (bild 6).

Livsuppehållande akutåtgärd

Problemet med nedbrytningen av *Vasas* trä skulle dessvärre inte vara löst även om man lyckades eliminera tillgången på syre, vatten och järn, eftersom den syra som redan bildats fortfarande finns kvar. Den förbrukas inte i nedbrytningsprocessen av träet, utan återbildas och fortsätter sin förödande framfart. För att stoppa en försvagning av trästrukturen är det därför nödvändigt att

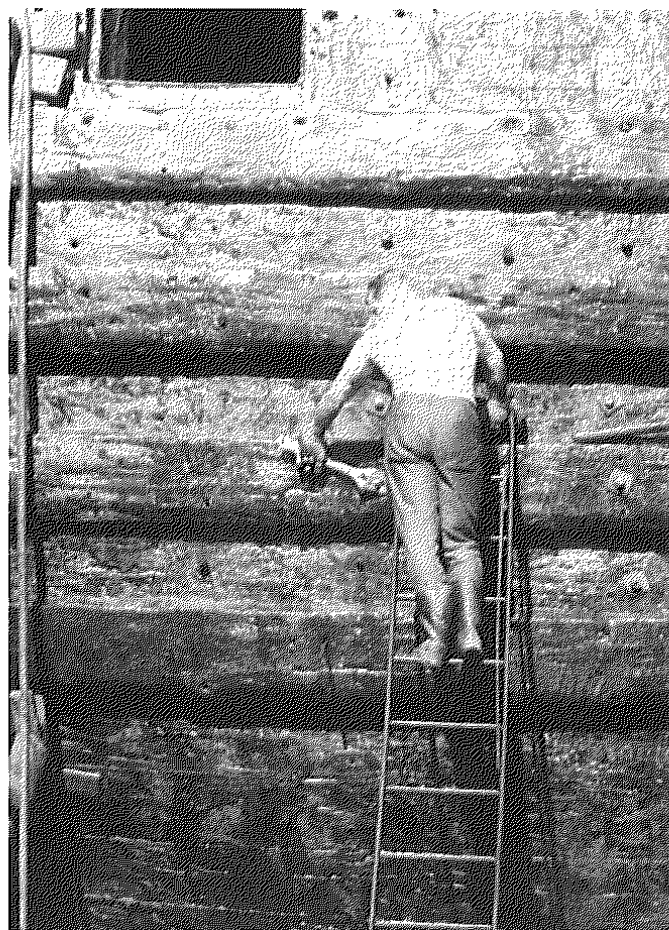


Bild 5. Efter bärgningen ersattes de bortrostade originalbultarna med nya.

syran neutraliseras. Detta görs idag genom att lägga absorberande dukar som dränkts i en basisk lösning på områden med saltutfällningar. Den basiska lösningen tränger ner i träet och neutraliserar syran. pH-värdet stiger omedelbart i området och hejdar vidare nedbrytning (bild 7). Effekten varar dock endast i några månader, sedan har tillräckligt med ny svavelsyra bildats för att träet åter skall befinna sig i en sur miljö. En upprepning av behandlingen är därför nödvändig för att upprätthålla effekten.

Metoden är enkel och ändamålsenlig, men om man tänker på att det tar två till tre månader att genomföra en behandlingsomgång över hela skeppet och att en sådan beräknats neutralisera omkring tio kilo svavelsyra – jämfört med de 100 kilo som troligen bildas per år – är det lätt att se svagheterna med metoden. Dessutom behandlas endast de saltutfällningar som har kunnat hittas och registreras. Eftersom skrovet är byggt i flera lager finns det stora inre ytor som man ännu inte vet hur de ser ut. Behandlingen med basisk lösning måste därför ännu så

Foto: Stefan Evensen, Statens sjöhistoriska museer

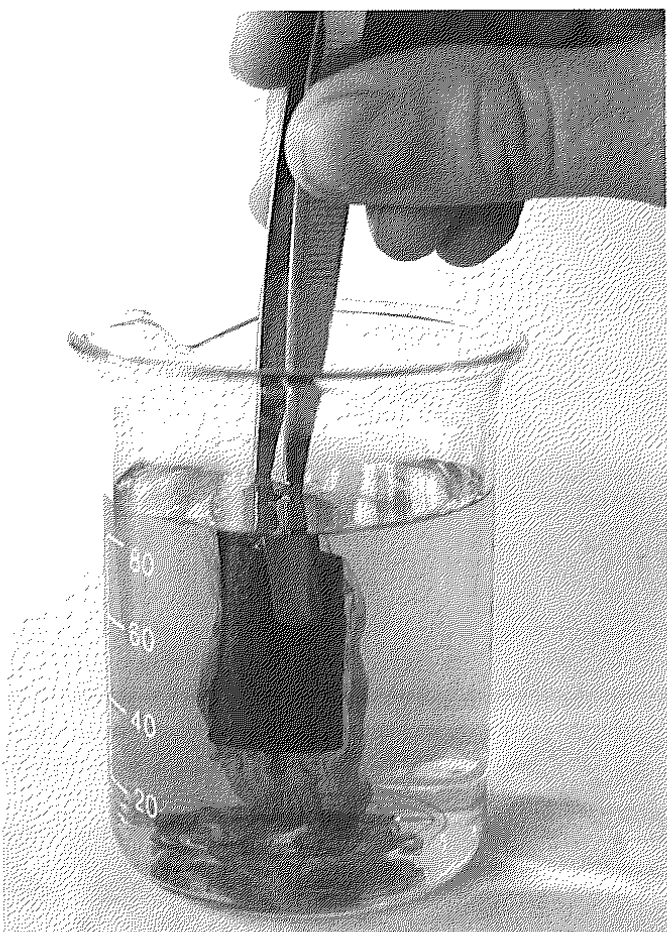


Bild 6. Försök görs med att urlaka rost från träet. Denna kemikalie färgas röd när den reagerar med järn.

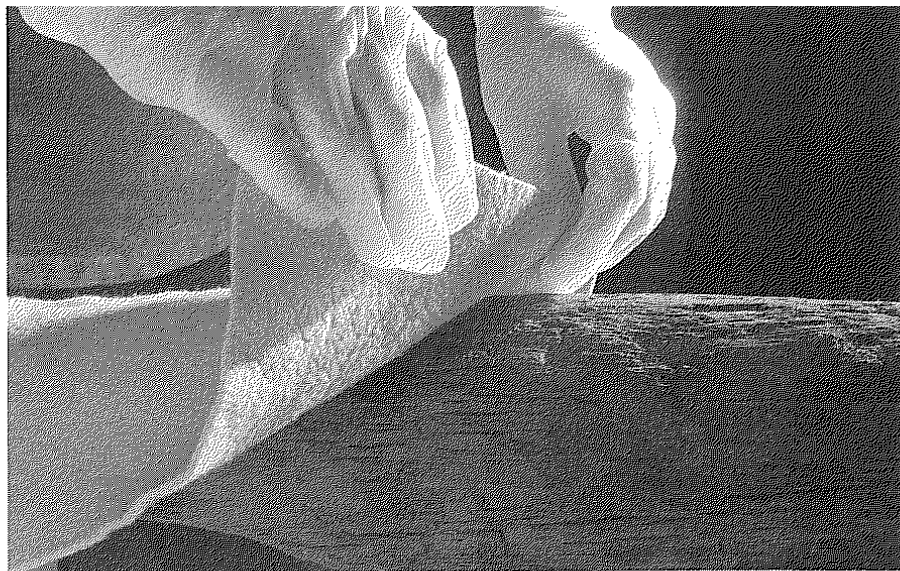


Bild 7. Dukar som dränkts i basisk lösning läggs på de sura områdena, för att neutralisera svavelsyran i träet.

Foto: Stefan Evensen, Statens sjöhistoriska museer

länge ses som en livsuppehållande akutåtgärd till dess att man genom forskning kommer fram till en mer effektiv metod.

Konserveringen och arbetet med bevarandet av *Vasa* visar med all tydlighet att naturen ständigt försöker bryta ner organiskt material och återföra det till jordens kretslopp. Det är viktigt att förstå att vi aldrig helt kommer att kunna stoppa den processen, utan endast fördröja nedbrytningen. Men vi skall ändå vara glada att *Vasa* bärgades när hon gjorde, idag är nämligen vattnet i Stockholms ström åter friskt och syrerikt och svavelvätet som fungerat som naturens eget konserveringsmedel av skeppet är på låga nivåer. En ren miljö är naturligtvis det vi vill ha, men det hade inte gynnat bevarandet av *Vasa*.

Lovisa Dal är konservator och Ingrid Hall Roth konserveringschef på Statens sjöhistoriska museer

Referenser

- Håfors, B. 2001. *Conservation of the Swedish Warship Vasa from 1628*. The Vasa Museum. Stockholm.
- Jespersen, K. 1989. Precipitation of iron corrosion products on PEG-treated wood. *Conservation of Wet Wood and Metal. Proceedings of the ICOM conservation Working Groups on Wet Organic Archaeological Materials and Metals. Fremantle 1987*. Ed. I.D. MacLeod. Perth.
- MacLeod, I.D. & Kenna, C. 1990. Degradation of Archaeological Timber by Pyrite: Oxidation of Iron and Sulphur Speices. *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Archaeological Materials Conference*. Ed. P. Hoffman. Bremerhaven.
- Sandström, M., Jalilehvand, F., Persson, I., Gelius, U., Frank, P. & Hall-Roth, I. 2002. Deterioration of the seventeenth-century warship *Vasa* by internal formation of sulphuric acid, *Nature*, 2002, 415.