

# Pyrit i arkeologiska benföremål – ett dolt problem?

Undersökning och skadeinventering av järn och  
svavel i arkeologiska ben- och benhornföremål



**Emma K Emanuelsson**

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i  
Kulturvård, Konservatorprogrammet

15 hp

Institutionen för kulturvård  
Göteborgs universitet

2015:05





Pyrit i arkeologiska benföremål - ett dolt problem?  
Undersökning och skadeinventering av järn och svavel i  
arkeologiska ben- och benhornföremål

Emma K Emanuelsson

Handledare: Yvonne Fors

Kandidatuppsats, 15 hp  
Konservatorprogram  
Lå 2014/15



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

[www.conservation.gu.se](http://www.conservation.gu.se)  
Ph +46 31 786 4700

Program in Integrated Conservation of Cultural Property  
Graduating thesis, BA/Sc, 2015

By: Emma K Emanuelsson  
Supervisor: Yvonne Fors

Pyrite in archaeological bone objects – a hidden problem?  
An investigation of iron and sulphur in archaeological objects of bone and antler.

#### ABSTRACT

The number of publications concerning problems with pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) and pyrite oxidation in archaeological objects made of bone or antler is limited. Problems with oxidation of unstable pyrite are well known in mineral collections, marine archaeological wood as well as archaeological skeletal remains. High levels of relative humidity seem to promote oxidation. Is there an overlooked problem regarding archaeological objects made out of bone or antler?

An inventory in four Swedish museum stores did not reveal any significant problems with cracking, flaking, or delamination of bone and antler objects. About half of the damaged objects displayed a discolouration of the surface of the cracks, indicating a possible iron/sulphur source of the problem.

Small fragments from damaged objects as well as samples from two marine archaeological bovine skeletal remains from the warship Kronan were analysed with SEM-EDX (scanning electron microscopy – energy-dispersive X-ray spectroscopy). Both sulphur and iron were detected in two composite object. In objects without any discolouration of the damaged surface, only the phosphorous and calcium from the inorganic component of the bone material were detected.

The bovine skeletal remains from the warship Kronan showed sulphur and iron in various proportion in the surface layer.

As there seems not to be any general problems within museum stores storage due to pyrite, there is no reason to modify the general climate recommendations for archaeological bone- and antler objects. However, as a few objects showed damage probably due to iron/sulphur problems, a review of conservation procedures for specific objects is recommended.

Title in original language: Pyrit i arkeologiska benföremål - ett dolt problem?  
Undersökning och skadeinventering av järn och svavel i arkeologiska ben- och benhornföremål.

Language of text: Swedish

Number of pages: 41

Keywords: museum inventory, SEM-EDX spectroscopy, iron/sulphur problem, conservation, bone objects, antler objects.

ISSN 1101-3303

ISRN GU/KUV—15/05--SE



## Tack

Ett stort tack till de ansvariga för museimagasinen jag besökt. Utan er hjälp, intresse och välkomnande skulle arbetet med denna uppsats inte ha varit lika givande.

Så, tack

- Jessica Lindevall, Göteborgs stadsmuseum,
- Sonja Jeffrey, Lödöse museum, Västarvet,
- Lisen Tamm, Sigtuna museum,
- Mikael Johansson och Synnöve Karlsson Streijffert, Stockholms stadsmuseum.

Ett lika stort tack till Anna Kjellström, osteoarkeologiska forskningslaboratoriet, Stockholms universitet, för inspiration, upplysningar och ben.

Jag vill även tacka Jonny Bjurman, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet, för hjälp med SEM-EDX-analysen.

Tack Isabell Emanuelsson för genomläsning och kommentarer.

Sist men inte minst vill jag tacka min handledare Yvonne Fors, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet, för god handledning.

Omslagsbilden visar en närbild på en skada troligen orsakad av pyritoxidering på ett knivskaft av benmaterial, Lödöse museum (se fig. 3 och 7). Samtliga bilder är tagna av författaren.





# INNEHÅLL

<b>1. Introduktion .....</b>	<b>10</b>
1.1 Bakgrund.....	10
1.2 Definitioner .....	11
1.3 Syfte .....	11
1.4 Målsättning .....	12
1.5 Avgränsningar .....	12
1.6 Etiska frågeställningar .....	13
1.7 Källkritik .....	13
<b>2. Kunskapsläge .....</b>	<b>14</b>
2.1 Ben och benhorn .....	14
2.2 Pyrit .....	18
2.3 Kemin i ben- och benhornmaterial.....	21
<b>3 Metoder och material .....</b>	<b>23</b>
3.1 Inventering .....	23
3.2 Kemisk analysmetod .....	27
3.3 Material .....	28
<b>4. Resultat.....</b>	<b>30</b>
4.1 Inventering .....	30
4.2 SEM-EDX.....	31
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>35</b>
<b>6. Sammanfattning .....</b>	<b>38</b>
<b>Termer och förkortningar .....</b>	<b>39</b>
<b>Käll- och litteraturförteckning .....</b>	<b>40</b>
Otryckta källor.....	40
Tryckta källor och litteratur.....	40
Elektroniska källor .....	41
<b>Bilagor.....</b>	<b>42</b>
Bilaga I Inventeringsformulär .....	42
Bilaga II Rapport skeppet Kronan .....	44
Bilaga III Rapport, Lödöse museum.....	54
Bilaga IV Rapport Sigtuna museum.....	61
Bilaga V Rapport Stockholms stadsmuseum .....	66



# 1. Introduktion

## 1.1 Bakgrund

De flesta arkeologiska föremål är av material som en modern människa kan relatera till. Keramikskärvor och träföremål känns igen och när jordklumpen är rensad framträder en rostig järnspik. Men när jag pratar om att mitt examensarbetet ska handla om arkeologiska föremål av ben ser de flesta inte tärningar, isläggjar eller nålbindningsnålar framför sig utan snarare döskallar och korslagda benknotor. Visst grävs det ut skallar och knotor men de hamnar oftast på osteologens bord, sällan konservatorns.

Benhorn från älgens eller renens hornkronor är lättare att relatera till. Det går att köpa ämnen för eget hantverk i välsorterade hobbyaffärer. Om inte annat är knappen på de populära armbanden med tenntådsbroderier traditionellt av renhorn.

Som en modern nutidsmänniska hade jag ingen relation till ben som material utöver vad som förekommit under utbildningen. Under min praktik på Acta Konserveringcentrum AB fick jag tillfälle att konservera föremål från utgrävningen av gamla Uppsala (fig. 1) och upptäckte att ben- och benhornmaterial var trevligt att arbeta med.



Figur 1. Sammansatt enkeltkam från Gamla Uppsala, under konservering (limning).

Under hösten 2014 kom en lista med förslag till uppsatsämnen från Riksantikvarierämbetet (RAÄ). Med mitt nyfunna intresse för ben fångade ett ämne, *Sprängning pga. pyritbildning (FeS<sub>2</sub>) inuti arkeologiskt benmaterial* mitt öga. Grunden var en förstudie som gjorts av Ebba Phillips, Studio Västsvenska Konservering (SVK), (Phillips, 2012). Fynd från en mesolitisk utgrävning vid Motala ström bestående av föremål av ben visade sig ha problem efter konservering. Förstudien visade att skadorna kunde kopplas till pyritoxidering.

Ben- och benhornmaterial är ett kompositmaterial som består av en organiska del – proteinet kollagen, och ett oorganiskt kristallkomplex – hydroxyapatit (HAP). Det två komponenterna skyddar varandra från nedbrytning vilket gör att föremålen bevaras bättre och i fler miljöer än annat organiskt material som t. ex. trä (Cronyn & Robinson, 1990, ss. 275 ff).

Pyrit kallas i folkmun kattguld och består av järn och svavel. Sekundärt bildad pyrit som ansamlats i benen bildar små, instabila kristaller som kan oxidera vid tillgång till syre och fukt. Detta gör pyrit känsligt för höga nivåer relativ luftfuktighet (RF). Redan vid RF 60 % ökar reaktionshastigheten drastiskt (Howie, 1992, s. 77). Skador på föremål kan uppkomma både genom en lokal pH-sänkning och en sprängning pga. den volymexpansion som oxidationsprodukterna medför (Turner-Walker, 2009).

En litteratursökning gav gott om träffar om pyrit- och järn/svavelproblematik i andra sammanhang än just arkeologiska föremål av ben eller benhorn. Pyrit orsakar problem som sprickbildning i arkeologiskt skelettmaterial med sekundärt bildad pyrit, i sten-och fossilsamlingar, byggnadssten och marinarkeologiskt trä. Men om föremål i bearbetat ben- eller benhornmaterial fanns lite eller inget skrivet.

Ett exempel noterades i två fackböcker. I *The Care and Conservation of Geological Material*, (Howie, 1992), finns ett kapitel om pyrit och marcasite där det nämns att pyrit kan finnas i bl. a. arkeologiska föremål. I *The Elements of Archaeological Conservation*, (Cronyn & Robinson, 1990) nämns pyrit enbart i samband med bergarten skiffer. Det är värt att notera att pyrit inte heller nämns i samband med arkeologiskt trä. Problem med missfärgningar pga. järn nämns men enbart som ett ännu inte undersökt område. Pyritproblematiken i marinarkeologiskt trä var ännu inte uppmärksammat när boken publicerades.

Varför finns denna skillnad inom litteraturen? Är problemet inte uppmärksammat i konserveringssammanhang, betraktas problemet som marginellt eller existerar det inte? Denna skillnaden ledde fram till frågeställningen för detta examensarbete. Finns det ett förbiset problem i museimagasin med arkeologiska föremål av ben eller benhorn som kan kopplas till pyrit?

Utöver litteraturstudien planeras en skadeinventering av arkeologiska föremål i ben- och benhornmaterial på några museimagasin. Provtagning på misstänkta skador utförs med en efterföljande analys för att ytterligare förstå mekanismerna bakom observationerna.

## 1.2 Definitioner

I denna uppsats avses med termen 'föremål' material som medvetet bearbetats till ett ting. Med 'skelett' och 'skelettmaterial' avses ben i form av matavfall eller andra kvarlevor. 'Benhorn' är materialet i hjortdjurs hornkronor.

## 1.3 Syfte

Syftet med uppsatsen är att undersöka och kartlägga om det finns ett oupptäckt problem kopplat till pyritoxidering i form av sprickbildning i arkeologiska föremål av ben- eller benhornmaterial, i museimagasin. Analys av prover från skadade föremål kan ge en bättre bild av mekanismerna.

## 1.4 Målsättning

Målsättningen med uppsatsen är att besvara frågan om det finns ett förbiset problem i museimagasin kopplat till pyrit eller järn/svavelproblematik i arkeologiska föremål av ben- eller benhornmaterial. Om svaret är *ja* kan det behövas en revidering av klimatrekommendationerna och/eller översyn av konserveringsrutiner för nyuppgrävda föremål.

## 1.5 Avgränsningar

Den praktiska delen av uppsatsen omfattar inga mänskliga kvarlevor. Eftersom uppsatsen fokuserar på föremål av ben- och benhornmaterial kommer andra närbesläktade material inte att beaktas. Slidhorn från nötkreatur som får och getter m. fl. är uppbyggda av proteinet keratin med andra nedbrytningsmönster och konserveringsproblem och omfattas inte av detta arbete. Även elfenben exkluderas trots att det är uppbyggd av snarlika komponenter som benmaterial. Skadeproblematiken för elfenben är delvis en annan och dessutom mer kartlagd (Christensson, 1999, s. 167).

Brända ben exkluderas från inventeringen och den efterföljande analysen. Dessa har mer eller mindre förlorat den organiska delen av materialet vilket medför delvis andra nedbrytningsmekanismer (Christensson, 1999; Cronyn & Robinson, 1990). Det leder till att en stor del av det förhistoriska materialet utesluts.

Inga aktiva konserveringsåtgärder som lagning av skador eller ompackning kommer att vidtas. Inte heller kommer tidigare konserveringsåtgärder undersökas.

### *Inventering*

I samband med inventeringen kommer inte skelettmaterial att granskas. Dessa omfattas sällan av konserveringsåtgärder och kan eventuellt ha ett delvis annat skademönster. Mängden skelettben är oftast mycket större än antalet föremål vilket kan snedvrída en skadeinventering.

Inventeringen fokuserar på skadebilder såsom sprickor, delaminering och flagor. Andra skador som angrepp av skadeinsekter eller mögel noteras inte.

Tidigt under arbetet uteslöts sammansatta kammar från inventeringen. Dessa är kompositföremål som kan bestå av både ben- och benhornmaterial med nitar av olika metaller såsom järn eller kopparlegering. För att förstå hela föremålets skadeproblematik bör metallsammansättningen i nitarna undersökas vilket inte ryms inom denna uppsats. Kammarna förefaller dessutom oftare vara konserverade med lagade skador och ytbehandlingar.

### *Analys*

Även om SEM-EDX (svepelektronmikroskopi, energi-dispersiv röntgenspektroskopi) enbart indirekt kan detektera pyrit via grundämnessammansättningen kommer ingen annan analysmetod att användas. För ett arbete på denna nivå är det inte aktuellt att använda mer avancerade metoder. Metoder för att säkert identifiera pyrit är högt specialiserade med en begränsad tillgänglighet.

## 1.6 Etiska frågeställningar

Inga mänskliga kvarlevor hanterades. Hantering av dessa kan vara kontroversiellt och skulle inte bidra till underökningen.

Förebyggande konservering, som att kontrollera det omgivande klimatet, kan säkra fler föremål under längre tid jämfört med aktiv konservering av enskilda föremål. Begränsade resurser räcker längre om skador kan förebyggas. Innan åtgärder vidtas, aktiva eller förebyggande, behöver behov, nytta och risker bedömas. (Caple, 2000, ss. 66ff). Men det samma borde gälla för åtgärder som inte vidtas eftersom underlåtenhet kan ha konsekvenser. Detta visar på till nytta av en inventering – att kartlägga om ett behov av en åtgärd finns.

Som ett led i en undersökning kan den kemiska sammansättning i ett material vara av intresse. Även om det finns icke-invasiva analysmetoder kan det bli aktuellt med att ta prover från ett föremål. I vilken omfattning, både i storlek och antal, provtagning är acceptabelt måste noga övervägas. Skadan på föremålet måste stå i proportion till hur mycket och adekvat information som kan erhållas (Caple, 2000, s. 85).

I denna uppsats orsakades ingen ytterligare skada på föremålen i samband med provtagning. Proverna togs i form av små, lösa flagor och pulver från skadade föremål. Eftersom denna uppsats kan betraktas som en förstudie är det inte motiverat med en mer omfattande provtagning.

Tillstånd för provtagning på föremål för denna uppsats ansöktes från respektive museum i förväg. Detta beviljades av alla utom av Göteborgs stadsmuseum. Museet är mycket restriktivt med tillstånd eftersom många förfrågningar om provtagning för olika ändamål inkommer. Närmre presentation av museimagasinen finns under kapitel 3.1.

Provtagningen på skelettmaterialet från skeppet Kronan är mindre problematisk. Som ett tecken på direkt mänsklig verksamhet har föremål ett större värde både som forskningsobjekt och som föremål i museiutställningar än skelettmaterial. Dessutom är tillgången till skelettmaterial är större än bearbetade föremål. Tillstånd till provtagning av skelettmaterial gavs av Kalmars länsmuseum efter skriftlig ansökan.

## 1.7 Källkritik

I stort sett har vetenskaplig litteratur används som källor. Ett undantag är en populärvetenskaplig skrift som beskriver hur bl. a. djurben och hornkronor kan bearbetas till föremål. De vetenskapliga texterna är publicerade i peer-reviewed tidskrifter, fackböcker och i sammanställningar av konferensbidrag. Till en stor del har litteratur inom kulturvård, framför allt konservering, använts men även texter från det arkeologiska området. Det speglar den brist på specifik litteratur om järn/svavel-problematik i arkeologiska föremål av ben- och benhornmaterial som har nämnts tidigare.

En del av litteratur är från 1990-talet och tidigare vilket innebär en risk att uppgifter kan ha blivit förlegade. I den mån som andra uppgifter framkommit kommenteras detta. Det kan dock inte uteslutas att ytterligare fakta eller andra rekommendationer har framkommit sedan publikationen.

## 2. Kunskapsläge

I kapitlet sammanfattas en del av den kunskap som finns om materialen ben och benhorn och dess användning, nedbrytning och konservering. Även kunskap om pyritproblematik i olika material presenteras. Kemin i benmaterial och bildning och nedbrytning av pyrit sammanfattas.

### 2.1 Ben och benhorn

#### *Ben och benhorn som material*

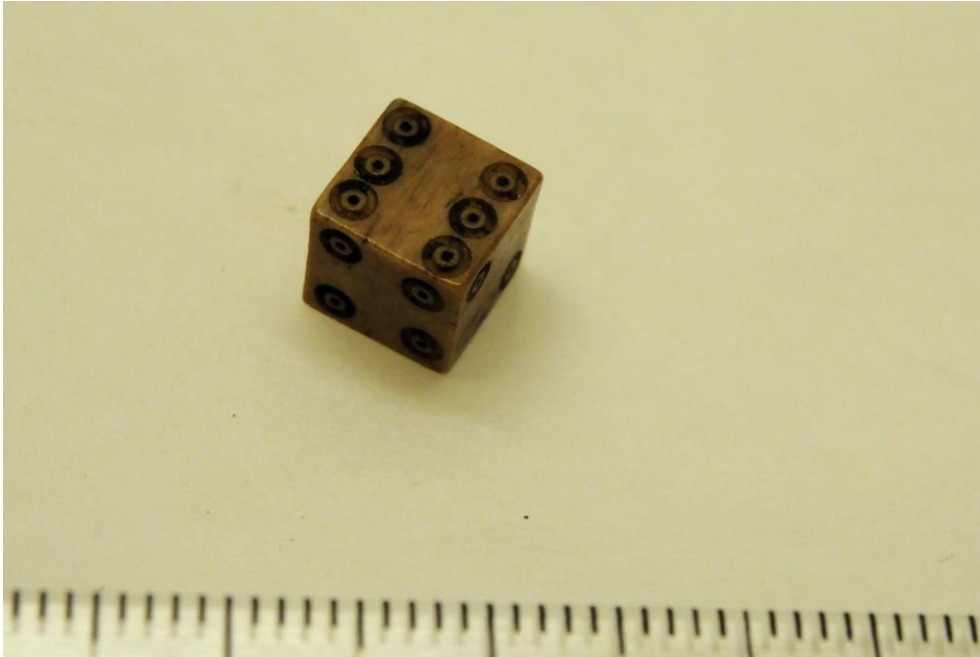
Ben- och benhornmaterial är kompositmaterial uppbyggt av en organisk del, protein kollagen, och ett oorganiskt kristallkomplex hydroxyapatit (HAP,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ). Både kollagen och HAP binder även vattenmolekyler. Kollagen gör materialet segt och flexibelt och HAP gör det hårt och starkt (Cronyn & Robinson, 1990, s. 275).

Kollagen är uppbyggt av tre proteinkedjor tvinnade som rep. Flera kollagenmolekyler bildar en fibrill fyllda av mycket små HAP-kristaller. Det mineraliserade kollagenet får delvis andra egenskaper än de enskilda komponenterna. Styrkan blir större än både kollagen och HAP medan elasticitet blir ett genomsnitt mellan komponenterna. (Artioli, 2010, s. 356; MacGregor, 1985, s. 4, 23; Nelson, et al., 2000, s. 173)

Istället för HAP anser vissa källor att den oorganiska delen av materialet är dahlit  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{OH}$ . I enlighet med de flesta källor används begreppet HAP i denna uppsats. Det kan dock vara bra att vara medveten om att kemin kan vara mer komplicerad (Artioli, 2010, s. 357).

Benmaterialets och benhornmaterialets strukturer skiljer sig åt, både på mikro- och makronivå, vilket ger dem delvis olika egenskaper. Båda materialen är dock hygroskopiska dvs. tar lätt upp och avger vatten, och anisotropa med olika mekaniska egenskaper i olika riktningar. (Christensson, 1999, ss. 165ff; Cronyn & Robinson, 1990, s. 275)

Benens uppbyggnad och därmed egenskaper skiljer sig mellan olika typer av ben, mellan arter och ålder på individen. Yngre djurs ben som inte är färdigt utvecklade, är mjukare och passar sämre som råmaterial för tillverkning föremål. Ben som belastas blir tätare och är ett bättre val. Ben är uppbyggt av ett kompakt yttre och ett spongiöst (poröst) inre skikt. De Haverska kanalerna är längsgående kanaler som innehåller blodkärl och binds samman med mindre, tvärgående kanaler. De är ett kännetecken för ben och ses som längsgående linjer i längdsnitt och prickar i tvärsnitt (fig. 2). Det är enbart det kompakta yttre som används till föremål även om rester det spongiösa inre ibland kan ses. (Christensson, 1999, s. 165; Cronyn & Robinson, 1990, s. 275; Hurcombe, 2007, s. 124)



Figur 2. Tärning av benmaterial, Lödöse museum.

Materialet benhorn kommer från hornkronorna från hjortdjur t. ex. ren och älg. Hornkronorna varierar i form och storlek beroende på art och individens ålder (Hurcombe, 2007, s. 125; MacGregor, 1985, s. 9).

Kronorna växer ut och fälls i en årlig cykel. De växer mycket snabbt och har under tillväxtfasen gott om blodkärl. Allteftersom kronan växer färdigt stryps blodförsörjningen för att helt upphöra när den är färdigväxt. Innan hornen fälls sker en nedbrytning av benet nere i rosenstocken, hornets fäste vid skallen, och kronan kan lossa. (MacGregor, 1985, s. 9)

Den snabba tillväxten tillsammans med en högre andel kollagen gör materialet mer flexibelt och segt jämfört med benmaterial. Ytan får ett oregelbundet, flammigt intryck som masurbjörk. Benhornet har ett hård yttre och ett spongiöst inre med kompakt material i spetsarna. (Christensson, 1999, s. 165; Cronyn & Robinson, 1990, ss. 275-276) .

#### *Föremål och dess tillverkning*

Som andra föremål av organiska material kan användningen av ben och benhorn ge en indikation om vilka djurslag som fanns och hur mathållningen kan ha sett ut. Vissa anser att det är osannolikt att det inte skulle finnas en samverkan mellan råmaterial och matresurser från ett djur (Hurcombe, 2007, s. 122).

Listan kan göras lång om vilka föremål som tillverkats av ben- och benhornmaterial. Allt från enkla föremål som isläggas till mer bearbetade som kammar; nyttoföremål som nålar, pilspetsar, krokare; till spel och dobbel som tärningar och spelbrickor; till högstatusföremål som vackert dekorerade kammar. Materialen användes även i kombination med andra material som till exempel till knivskaft (fig. 3, 22). (Ambrosiani, 1981, ss. 128 ff; Christensson, 1999, ss. 166 ff)





Figur 3. Knivskaft i ben (Lö2), Lödöse museum.

Benens och hornkronornas storlek innebar en begränsning i föremålens storlek. Långa ben gav mest material medan andra bens typiska form och egenskaper utnyttjades. Revben kunde bli till poleringsverktyg eller en spatel och ett skulderblad passade till en skovel. (Hurcombe, 2007, s. 124). Ben- och benhornmaterialens olika egenskaper har utnyttjats t. ex. i sammansatta kammar. Benhornets flexibilitet kunde passa till tandskivorna medan stödskenorna kunde göras av delade revben (Hurcombe, 2007, s. 134). Dock påverkade även tillgången på material vad som användes. Det torde ha varit en god tillgång på ben för att tillverka föremål. Ofta är mellanfotsben från större djur som ko och häst överrepresenterade i samband med föremål och dess tillverkning (fig. 4.) Det kan peka på en koppling till lädertillverkning eftersom dessa ben ofta skiljdes från slaktkroppen tillsammans med skinnet. Det finns uppgifter om att garvarna tillvaratog benen och sålde dem vidare (MacGregor, 1985, s. 30).



Figur 4. Spill efter mellanfotsben, Lödöse museum.

Tillgången av benhorn är mer komplicerad. Jakten på hjortdjur var reglerad och som högvilt var den förbehållen de högre stånden. Det innebar att tillgången på hornkronor från slakt var begränsad. Insamling av fällda kronor gjordes av personer som hade ärenden i skogen t. ex. bärplockning. Det finns teorier om att det pågick en handel med insamlade kronor. (MacGregor, 1985, s. 34).

Det har inte varit möjligt att få fram teorier i den vetenskapliga litteraturen om hur ben bereddes till råmaterial. I en nutida, populärvetenskaplig källa beskrivs några metoder för hur annan vävnad som brosk kan avlägsnas. Efter att benet blivit mekaniskt rensat kan det sjudas i någon timme, ligga i kallt vatten i några månader eller begravas i ungefär ett år (Constantine, 2014, s. 76). Benhorn som generellt har mindre annan vävnad att avlägsna, behöver enbart en viss mekanisk bearbetning.

Ben- och benhornmaterial är hårda material att arbeta med. För att underlätta den mekaniska bearbetningen kan materialet blötläggas i vatten. Det finns uppgifter om att sura vätskor som surmjölk eller vinäger kan ha använts men dessa påverkar de mekaniska egenskaper negativt. Benhorn kan efter blötläggning omformas mekaniskt. (Christensson, 1999, ss. 166 ff, 172 ff; Cronyn & Robinson, 1990, s. 275; Hurcombe, 2007, s. 134)

Det har funnits många tekniker att bearbeta materialet på även med stenföremål. Eftersom det finns få levande hantverkstraditioner blir spår efter tillverkning och slitage viktiga. Att granska föremål efter tillverkningsspår kan vara det enda sättet att ta reda på vilka metoder och redskap som använts. Olika tekniker och verktyg ger olika tillverkningsspår. (Hurcombe, 2007, s. 134; MacGregor, 1985, s. 1). När det gäller benhorn är det viktigt att skilja mellan tillverkningsspår och spår från djurens beteende som att feja hornen. (Hurcombe, 2007, s. 130).

Liksom andra föremål kan ben- och benhornföremål ordnas i en typologi utifrån form och dekorationer. På så sätt kan t. ex. kammar ordnas i en typologi där tidsperioder och geografisk utbredning ger ett skiftande mönster. Ambrosiani (1981, s. 15) menar att genom att beräkna kronologi utifrån kammar i gravar speglas personens generation bättre än med metallföremål. Till skillnad från de dyrare metallföremålen, användes kammarna under en begränsad tidsperiod. Kammarnas typologi ger information om handelsvägar och kulturellt utbyte och kan användas för datering (Ambrosiani, 1981, ss. 32 ff, 55). Enklare föremål som isläggare och nålar liksom spill och ämnen är svårare att inordna i en typologi och därmed datera (Ambrosiani, 1981, s. 152).

#### *Nedbrytning och bevarande*

I naturen bryts organiskt material ner till sina beståndsdelar och återgå till det naturliga kretsloppet. Under speciella förhållanden kan de nedbrytande mekanismerna förhindras. Organiskt material bevaras bäst i torra områden eller i permafrost alltså miljöer med låg biologisk aktivitet, så även ben- och benhornmaterial. Med få öknar och glaciärer eller inlandsisar är det framför allt i vattendränkta miljöer som organiskt material bevaras i Sverige. Ben- och benhornföremål hittas bl.a. i medeltida stadslager med vattendränkta, syrefattiga, fosfatrika områden och en konstant vattennivå. (Christensson, 1999, ss. 172ff; Cronyn & Robinson, 1990, ss. 276ff)

De organiska och oorganiska beståndsdelarna i ben- och benhornmaterial skyddar varandra från nedbrytning. Det gör att materialet bevaras bättre än annat organiskt material. Men förutsättningarna varierar och därmed nedbrytningsgraden. En orsak till det bättre bevarandet är att det organiska kollagenet och det oorganiska HAP bevaras bäst i olika pH. I miljöer med lågt

pH löses HAP upp, se formel 1. I stillastående vatten uppstår en jämvikt mellan löst och olöst HAP. Cirkulation av vatten medför att beståndsdelarna lakas ur vilket lämnar ett mjukt och sladdrigt material, helt bestående av kollagen. Vid felaktig torkning kommer det att krympa och deformeras. Högt pH kan hydrolysera kollagen vilket gör att det snabbt bryts ner av mikroorganismer i syrerika miljöer. Kvar blir en spröd massa bestående av oorganiskt HAP som lätt smulas sönder.

Sämst bevaras materialen i syrerika, kalkfattiga miljöer såsom genomsläppligt grus med högt pH. Kollagenet bryts ner av bakterier och därefter sköljs HAP bort.

Fossilisering sker i kalkhaltiga avlagringar där den organiska delen långsamt ersätts med oorganiska kalciumsalter. Processen är mycket långsam och inget som kan förväntas sig i samband med arkeologiska föremål (Cronyn & Robinson, 1990, s. 277).

### *Konservering och förvaringsklimat*

En av de viktiga åtgärderna för de flesta organiska material i samband arkeologiska utgrävningar är att hålla fuktiga föremål fuktiga tills de kan torkas under kontrollerade former. Detta är även viktigt med ben- och benhornföremål. Som nämnts tidigare kan ett demineraliserat benföremål krympa och deformeras om det torkas på felaktigt sätt.

Eftersom hårda krutor på benföremål kan ha en kemiska sammansättning som liknar HAP är det vanskligt att använda kemikalier på ben- och benhornmaterial. Arkeologiska föremål rensas och rengörs helst mekanisk eftersom det oftast är lättast att kontrollera. Verktygen ska helst vara mjukare än föremålet för att inte repa i onödan. Det är inte minst viktigt med benföremål eftersom ytan kan vara mjukare på grund av en demineralisering av ytan. Lättast är det att rensa våta föremål när de fortfarande är blöta. (Cronyn & Robinson, 1990, ss. 64, 279)

Enligt Cronyn (1990, s. 282) kan salter lakas ur innan torkning. Föremålen i ben- och benhornmaterial ska torka långsamt. (Cronyn & Robinson, 1990, s. 281) . Föremål i benhorn som omformats med blötläggning riskerar att återgå till sin ursprungliga form. De kan behöva tyngas ner för att behålla formen under torkning (Christensson, 1999, s. 173). I Phillips (2012) förstudie undersöktes och redovisades en metod att torka benföremål långsamt utan impregnering.

Det ideala klimatet för förvaring av ben- och benhornföremål är en jämn relativa luftfuktighet (RF) på 50 % ± 5. Liksom för andra material riskeras mögelangrepp i RF-nivåer över 65 %. För lågt RF leder till uttorkning av materialet som riskerar att spricka. Snabba växlingar är särskilt skadliga eftersom materialet utsätts för påfrestning när vatten omväxlande tas upp och avgår. De anisotropa egenskaperna gör att materialet krymper och sväller olika mycket i olika ledd i relation med fukthalten. Det kan leda till intern stress med sprickor som följd. Ben spricker gärna längs de Haverska kanalerna, benhorn i fiberriktningen.

Lufttemperatur är inte lika kritisk, utöver sambandet med RF. Med en konstant fuktmängd i luften ökar RF med en sjunkande temperatur och vice versa. Eftersom kemiska reaktioner och andra processer går långsammare vid en lägre temperatur brukar rekommendationen vara 18°C (Christensson, 1999, s. 174).

## **2.2 Pyrit**

### *Pyrit i sten*

Pyrit är en av de mest allmänt spridda mineralerna och kan förekomma i alla sorters bergarter. Den finns i olika kristallina former – från kubiska till mikroskristallin framboidal, från centimeterstora i storlek till delar av mikrometer (fig. 5).



Figur 5. Pyritsten, referensmaterial.

Välkristalliserad pyrit benämns som stabil eller inert, mikrokristallina strukturer som instabila eller reaktiva. Det förefaller finns ett samband mellan struktur eller kornstorlek och stabilitet som även påverkas av den omgivande miljön. Spårämnen i mineralen kan även påverka stabiliteten liksom ett karbonat innehåll. (Howie, 1992, ss. 70ff)

Pyritoxidering är ett känt problem sedan lång tid. Den äldsta referensen om detta i *The Care and Conservation of Geological Material* (Howie, 1992) är från 1880-talet. Det betraktas som ett av de allvarligare problemen i geologiska samlingar.

Vid den första reaktionen i oxideringen av pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) bildas svavelsyra ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) och järn(II)sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ), se formel 4. Järn(II)sulfat kan i sin tur oxidera, hydrolysera, dehydrera beroende på omgivningen. Det betyder att en mängd olika oxidationsprodukter bl. a. gips och vivianit kan bildas. Dessa produkter har en betydligt större volym vilket leder till interna påfrestningar. En lokal pH-sänkning kan även påverka omgivande mineral. (Howie, 1992, ss. 71ff)

Instabil pyrit i form av mikrokristallin framboidal pyrit blir ostabil i RF-nivåer över ca 60 %. Därför är rekommendationerna för mineralsamlingar och fossiler med pyritproblematik att hålla RF under 50 %, helst 30-40 %. (Howie, 1992, s. 76)

#### *Pyrit i marinarkeologiskt trä*

Som nämnts står det i *The Elements of Archaeological Conservation* från 1990 inget om pyrit och mycket lite om järnproblematik i arkeologiskt trä. (Cronyn & Robinson, 1990)

Problem relaterat till pyrit i detta sammanhang är förknippat med marinarkeologiskt trä såsom regalskeppet *Vasa*. Det uppmärksammades efter den regniga sommaren 2000 då antalet sura gula och vita utfällningar hade ökat både på skeppet och på andra träföremål. Utfällningarna visad sig bestå av sura sulfatbaserade salter. Bildandet av dessa hade utlösts av växlande RF med nivåer över 65 %. Upptäckten ledde till ett antal omfattande forskningsprojektet under flera år bl. a. ”Preserve the *Vasa*”. (Fors, 2008, s. 29)

Sedan dess har mycket publicerats om problematiken runt pyrit och järn/svavel i marinarkeologiskt trä. Utöver denna forskning sker även utveckling och modifiering av konserveringsmetoder för marinarkeologiskt trä.

Det är fler skepp förutom Vasa som studeras såsom Mary Rose i Storbritannien, Bremen Cog i Tyskland, vikingaskepp i Danmark såväl som ej bärgade Östersjövrak t. ex. skeppet Kronan (Fors, 2008, s. 35ff; Fors et al., 2012).

Skeppet Kronan sjönk 1676 utanför Öland. Det upptäcktes 1981 och arkeologer har arbetat med utgrävningar sedan dess. Föremål och prover från trästrukturer har tagits upp men skeppet är inte bärgat (Einarsson, 1990). Analyser av träprover visar på förekomst av järn och svavel (Fors et al., 2012).

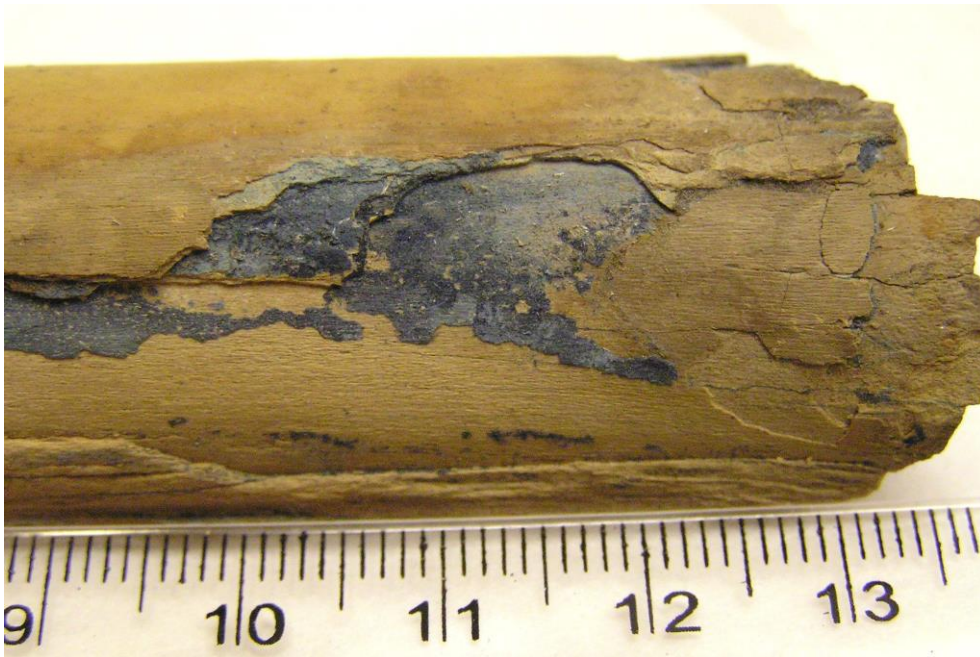
Pyrit i trä bildas då svavelväte från sulfatreducerande bakterier (SRB) reagerar med järn från omgivningen. Oxidering av pyrit sker på motsvarande sätt som i stenmaterial, se formel 4. Precis som i sten kan den volymexpansion som oxidationsprodukterna medför leda till sprängning av träet. Dessutom kan ett lågt pH leda till en sur hydrolys av cellulosa, en av huvudkomponenterna i trä (Fors, 2008, s. 77).

#### *Pyrit i skelettben*

Att det finns pyrit i arkeologiska ben vittnar om att förhållanden i jorden har varit gynnsam även för bevarandet av benmaterialet (Hollund et al., 2012). I syrefattiga miljöer med en begränsad aktivitet av bennedbrytande bakterier finns det istället anaeroba bakterier som sulfatreducerande bakterier (sulphate reducing bacteria, SRB). Dessa är inte direkt skadliga för benmaterial eftersom de inte kan metabolisera stora molekyler som peptider. De använder sulfatjoner som oxideringsmedel för att bryta ner enkla organiska ämnen från förruttnelseprocesser som acetat och laktat, se formel 2. SRB kan även utnyttja vätejoner, se formel 3. Värt att notera är att de mycket små håligheterna i ben som t. ex. de Haverska kanaler kan utgöra syrefattiga miljöer (Hollund et al., 2012). Sulfidjoner som bildas av SRB kan tillsammans med tvåvärdade järnjoner från omgivningen bilda pyrit.

Framboidalt pyrit har med sina små kristaller en stor ytan som gärna oxiderar under exponering av syre och fukt. På samma sätt som i sten har oxidationsprodukterna en betydlig större volym vilket ger en sprängverkan på omgivande material. Oxideringen orsakar även en lokal pH-sänkning som kan lösa HAP, se formel 1. Den fria kalciumjonen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) från HAP kan tillsammans med sulfatjoner ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) från pyritoxideringen bilda gips ( $\text{CaSO}_4$ ). I en omgivning med så många olika joner kan ytterligare föreningar bildas såsom järnoxider, järnhydroxider och olika järnfosfatföreningar.

Skador som sprickor och fläckar på materialet kan vara spår efter pyrit som oxiderat (Hollund et al., 2012; Turner-Walker, 2009). Fläckarnas färger beror på vilka kemiska föreningar som bildats. Att koppla färg till förening är vanskligt även om gips är vitt och elementärt svavel gult. Järnmineraller och järnkorrosionsprodukter, varav viss kan uppstå i denna miljö, kan ha olika färger beroende på järnets oxidationsstatus och de andra ingående ämnen. (Selwyn, 2004, s. 101)

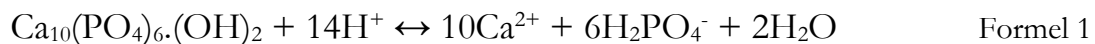


Figur 6. Färgförändringar i brottytor (Lö4), Lödöse museum.

### 2.3 Kemin i ben- och benhornmaterial

I detta kapitel sammanställs och sammanfattas de olika kemiska reaktionerna som beskrivits ovan i kapitel 2.1 och 2.2.

*HAP (hydroxyapatit)*



Denna jämviktformeln kan förskjutas åt höger eller vänster beroende på pH. Ju lägre pH, dvs mer  $\text{H}^+$ , ju mer HAP löses upp till  $\text{Ca}^{2+}$ - och fosfatjoner – formeln förskjuts till höger. Det samma sker om joner lakas ur genom vattengenomströmning. I stillastående vatten uppstår en jämvikt. (Turner-Walker, 2009)

Med ökat pH kan HAP-kristallerna återbildas men till större kristaller (Artioli, 2010, s. 365) .

*SRB (Sulphate reducing bacteria – sulfatreducerande bakterie)*

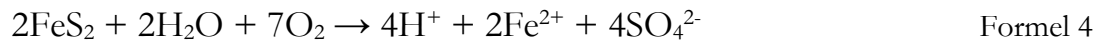


eller



SRB kan använd sulfatjoner för att bryta ner enkla organiska ämnen, formel 2. De kan även använda vätejoner vilket höjer pH lokalt, formel 3. Sulfidjoner,  $\text{HS}^-$ , kan tillsammans med järnjoner,  $\text{Fe}^{2+}$ , från omgivningen bilda järn(II)sulfid/pyrit,  $\text{FeS}_2$ . (Turner-Walker, 2009).

### Oxidering av pyrit



Tillsammans med vatten och syre sönderfaller  $\text{FeS}_2$  i tvåvärda järnjoner och sulfatjoner varvid instabil  $\text{FeSO}_4$  bildas samtidigt som pH sjunker, formel 4. Som synes behövs alltså både vatten och syre vilket är förklaringen till pyrits känslighet för höga RF.



Tvåvärt järn,  $\text{Fe}^{2+}$ , kan tillsammans med syre oxideras till trevärt järn,  $\text{Fe}^{3+}$ , formel 5.  $\text{Fe}^{3+}$  kan bilda svårslöslig järn(III)hydroxid, formel 6.

I benmaterial med  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  och fosfatjoner (från formel 1), sulfatjoner m. fl. kan olika tänkbara föreningar kan bildas, däribland gips ( $\text{CaSO}_4$ ) och vivianit ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) (Howie, 1992, s. 70; Selwyn, 2004, s. 101; Turner-Walker, 2009).



Figur 7. Detalj av knivskaft med skador troligtvis orsakade av pyrioxidering, se även figur 3 (Lö2). Lödöse museum.

### 3 Metoder och material

Det praktiska delen av denna uppsats är uppdelad i två:

- skadeinventering i museimagasin samt
- analys av prover.

Analysen utförs med SEM-EDX av prover från inventeringen och som jämförelse, prover från skelettmaterial från skeppet Kronan. Även referensprover inköpta för ändamålet i form av pyritsten (fig. 5) och ett nutida benföremål (fig. 8) analyseras.



Figur 8. Referens, nutida bennål

#### 3.1 Inventering

Inventeringen görs i fyra museimagasin Göteborgs stadsmuseum, Lödöse museum, Sigtuna museum och Stockholms stadsmuseum. De är valda utifrån personlig erfarenhet från utbildningen. Ursprungligen hade två dagar per magasin avsatts för inventeringen med ytterligare en halv dag för förberedelse och efterarbete. Inventeringarna kunde dock genomföras under en dag per magasin.

Inför inventeringen förbereds ett formulär med faktorer som kan förväntas vara relevanta som bidragande orsaker till skador (bilaga I). Det omfattar fakta om föremålen såsom museinumner, benämning och material; skadebeskrivningen som förekomst, skadans utseende och beskrivning av färgförändringar i och omkring brottytor. Dessutom antecknas ytterligare information som pH-mätning, provtagning och ev. dokumentation med foto. Ursprungligen planerades även att anteckna bearbetningsgrad, när föremålet grävts ut samt magasinerats. Dessa uppgifter bedömdes sedermera inte vara relevanta.





Figur 9. Flagor i botten på fyndask som tecken på skada (SM2), spillbit, Stockholms stadsmuseum.

Föremålen granskas okulärt med avseende på sprickbildning, flagor och delaminering av ytskikt. Utöver föremål granskas i viss mån även ämnen och spill efter tillverkning. Föremål utan skador noteras i formuläret i grupper med liknande föremål. Ett enkelt sätt att konstatera skador är att undersöka de fyndaskar föremålen förvaras i eftersom lösa delar och flagor i botten är ett otvetydigt tecken sprickbildning (fig. 9).

Skadan beskrivs liksom färgförändringarna i eller omkring brottytorna. Färgförändringar planeras att användas för att särskilja skador som kan vara relaterade till järn/svavel-problematik från andra. Som nämnts i kapitel 2.2 och 2.3 kan järnföreningar ha olika färger, som rostbrunt och gråblått, beroende på dess kemiska sammansättning. Sprickor till följd av för lågt RF torde inte vara missfärgade. I samband med inventeringen tas de prover som bedömdes vara intressanta, se kapitel 3.3.

Samtliga magasin har föremål av flera materialkategorier i samma lokal. Magasinen har antingen fasta hyllsektioner eller kompaktssystem, där hyllsektionerna kan flyttas i sidled. Föremålen förvaras i fyndaskar, placerade i backar i hyllorna.

Sorteringen av föremål av olika material inom samlingen kan ske efter materialkategori, utgrävning eller i kombination av dessa. Beroende på sorteringen varierar antalet inventerade föremål mycket mellan magasinerna. I de magasin där föremål är sorterade efter materialkategorier innehåller vissa backar enbart föremål av ben- och benhornmaterial (fig. 10). En stor mängd föremål kan granskas under en kort tid. Med föremål av olika material i samma back måste enskilda föremål letas upp vilket är mer tidskrävande (fig. 11). Sorteringen redovisas under respektive magasin.



Figur 10 Back med ben- och benhornföremål, Sigtuna museum



Figur 11 Back med föremål av blandade material, Stockholm stadsmuseum

Antal fyndposter som redovisas nedan är inte det samma som antal föremål eftersom en fyndpost kan innehålla flera föremål (fig. 12).



Figur 12. Bennålar, tio föremål med samma fyndnummer, Sigtuna museum

### *Göteborgs stadsmuseum*

Göteborgs stadsmuseum har fler samlingar utöver den arkeologiska. De arkeologiska föremålen är antingen från forntiden eller från stadsgrävningar.

Magasinet har ingen klimatanläggning men klimatet i lokalen där den arkeologiska samlingen förvaras bedöms enligt uppgift vara något trögt. Tekniska problem med klimatmätutrustningen gör att mätningar inte har kunnat utföras kontinuerligt. Klimatkurvor med mätningar mellan år 2004 och 2010 visar ett klimat som följer årstidsväxlingarna. RF har växlat mellan ca 22 % och 68 % över åren med temperaturer som följer RF.

Samlingen uppskattas bestå av mer än en miljon förhistoriska föremål, oräknat medeltida och stadsarkeologiska. Föremålen är ordnade efter utgrävningar i backar med blandade material, placerade i fasta hyllsektioner. Föremålen letades upp utifrån listor. (Informant 2)

### *Lödöse museum*

Lödöse museum är ett medeltidsmuseum, beläget uppströms från Göteborg i Göta älv. Klimatet lär vara trögt i förhållande till den yttre väderleken men någon kontinuerlig klimatövervakning med datalogger har inte skett. Hygrometer i magasinet läses av för hand. Det finns ca 100 000 fyndposter med arkeologiska föremål. Föremålen förvaras i kompaktssystem, sorterade efter material. De flesta ben- och benhornföremål granskades. Backar med övervägande spill undantogs (fig. 13). (Informant 3)



Figur 13. Fyndask med benspill, Lödöse museum.

### *Sigtuna museum*

Sigtuna kommun har sedan 2014 ett gemensamt magasin för sina samlingar. Utöver arkeologiska föremål finns även samlingar med kulturhistoriska föremål och konst.

I den gamla förvaringen fanns ingen klimatmätning men RF uppskattas att ha följt årstidsväxlingar, omväxlande för torrt och för fuktigt. Klimatet i det nya magasinet är stabilt men ännu inte på exakt rätt nivå.

Den arkeologiska samlingen bedöms innehålla 130 000 fyndposter. Föremålen förvaras i ett fast hyllsystem och är ordnade efter utgrävningar. Inom utgrävningen är föremålen sorterade efter material. En back per utgrävning valdes slumpmässigt ut för inventering. (Informant 4)

#### *Stockholms stadsmuseum*

Stockholm stadsmuseum har flera olika samlingar utöver den arkeologiska. Klimatet övervakas kontinuerligt med datalogger. Under de senaste två åren har RF i viss mån följt årstidsväxlingarna och legat på min 39 %, max 56 % med enstaka låga extremvärden. Temperaturen följer RF.

Den arkeologiska samlingen omfattar ca 135 000 fyndposter, uppskattningsvis 500 000 föremål/skärivor exklusive brända ben och annat osteologiskt material.

Föremålen förvaras i ett kompaktsystem, sorterade efter utgrävningar. Sorteringen inom utgrävningarna varierar, vissa efter materialkategori, andra efter fyndnummer. Där föremålen är sorterade efter material valdes slumpmässigt en back per utgrävning. I övrigt letades enskilda föremål upp utifrån fyndlista. (Informant 5)

### **3.2 Kemisk analysmetod**

SEM-EDX kombinerar två metoder: svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) och energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX). SEM ger en förstoring och EDX en grundämnesanalys på valt område (Artioli, 2010, ss. 66ff). Metoden kan detektera de ingående grundämnena, såsom järn och svavel men inte kemiska föreningar som pyrit. Om järn och svavel påvisas i partiklar i proportioner motsvarande pyrit ( $\text{FeS}_2$ , 1:2) kan det antas vara pyrit eller annan järn/svavelförening.

SEM kan jämföras med ljusmikroskopi där elektroner används istället för ljus och elektrostatisk och elektromagnet används istället för optiska linser för att rikta och styra spridningen av en elektronstrålen. Det gör att förstoringen kan göras större, upp till 100 000x istället för 1000x som för ljusmikroskopi (Artioli, 2010, ss. 66ff) .

EDX: När provet bombarderas med energi från elektronstrålen, exciteras de ingående ämnens elektroner. Då de återgår till sitt ursprungsläges avges energi i form av röntgenstrålning i ett karaktäristiskt mönster för grundämnen som ingår (Artioli, 2010, ss. 34-36) .

Metoden är främst kvalitativ även om topparnas höjd ger en indikation om det inbördes förhållandet mellan de detekterade grundämnena.

Grundämnena med lägre molekylvikt än kol (C) är svåra att analysera. (Informant 6)

Utrustningen som används är Hitachi S-3400N med programvaran INCA för styrning och tolkning av EDX-mätningar.

Prov placeras på stubbar (se beskrivning nedan) som placeras i en vakuumkammare och elektroner ett från upphettat filament bombarderar provet.

Grundämnen detekteras med EDX med hjälp av en punktmätning (Point and ID-funktionen) utifrån SEM-bilden. Bildens förstoring är antingen 30x eller 55x. Antal områden som granskas och punkter som mäts redovisas för vart prov i resultatdelen, avsnitt 4.2.

Inför SEM-EDX-analysen preparerades provhållare, kallad stubbe, med dubbelhäftande koltejp vilket gör att proverna fastnar. Stubbens provytan är 12 mm i diameter. Proverna placerades på resp. stubbe under arbetsmikroskop, ca 10x förstoring. De två referenserna placerades på samma stubbe, på olika delar av ytan. I övrigt placerades prov från ett föremål per stubbe.

SEM-EDX-analysen utfördes vid två tillfällen. Till det andra tillfället hade bilder över proverna på stubbarna förberetts för att underlätta identifieringen av intressanta områden (fig. 24 m.fl.).

### 3.3 Material

#### *Föremål*

Prover togs på föremål med tydliga skador såsom sprickor, flagor, delamineringar (fig. 6, 9). Små lösa flagor valdes ut som prover och i förekommande fall kunde en lös, pulvrig beläggning skrapas av. Flagorna som togs var för små för att kunna limmas tillbaks vid en eventuell åtgärd. Ingen ytterligare skada gjordes på föremålen. Proverna förvarades i slutna provrör i avvaktan på analys.

I samband med provtagning gjordes ett försök att mäta pH. Fuktad pH-indikatorpapper (pH 1-10, Merck) lades mot ytan och avläsning gjordes mot bifogad indikatorskala.

#### *Skelettmaterial*

Två skelettben från skeppet Kronan erhöles från Osteoarkeologiska forskningslaboratoriet, Stockholms universitet (OFL) för jämförande SEM-EDX-analys. Båda benen var från ko/kalv, BenH del av ett överarmsben (humerus), BenT del av ett skenben (tibia).

Ursprungligen var de avsedd till mat och låg styckade i tunnor. I den marinarkeologiska miljön fanns även krut och korroderande kanonkulor (Informant 1).

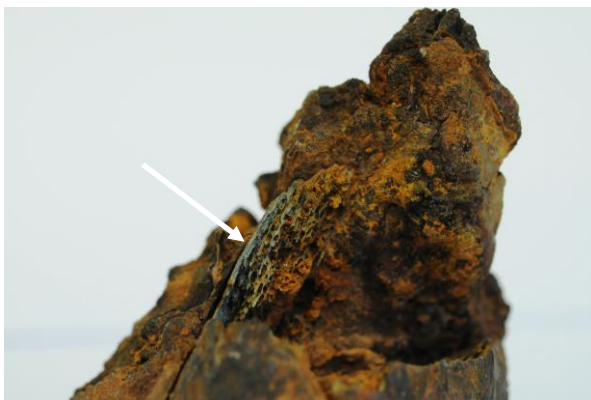
BenH har en stor krusta av korrosionsprodukter (fig. 14-15). Hela benet är kraftigt missfärgad i rödbrunt och svart. På ett litet område finns även en blågrå missfärgning (fig. 16). Benet har sprickor men den stora krustan gör det svårt att avgöra om sprickorna går i benet, krustan eller däremellan.



Figur 14. Skelettmaterial, skeppet Kronan, överarmsben från ko/kalv (BenH)



Figur 15. Skelettmaterial, skeppet Kronan, överarmsben från ko/kalv (BenH)



Figur 16. BenH, detalj, pil indikerar blågrå missfärgning.



Figur 17. BenH, detalj, pil anger område för provtagning.

BenT har framförallt svarta och i mindre omfattning rödbruna missfärgningar (fig. 18-19). Flera kraftiga sprickor med rödbruna missfärgningar, löper längs benet (fig. 20). Benet är eroderad och det spongiösa inre syns (fig. 21).



Figur 18. Skelettmaterial, skeppet Kronan, skenben från ko/kalv (BenT)



Figur 19. Skelettmaterial, skeppet Kronan, skenben från ko/kalv (BenT)



Figur 20. BenT, detalj spricka.



Figur 21. BenT, detalj pil indikerar eroderat ben.

Prover från benen togs under arbetsmikroskop ca 10x förstoring från representativa områden utifrån utseende, och lades direkt på stubben.

#### *Referensmaterial*

Som jämförelse analyserades även prover från pyrit i form av sten och ett nutida benföremål. Pyritstenen ska enligt uppgift från försäljaren vara utvunnen ur kalksten från Gotland (fig. 5). Prov skrapades från stenen och lades direkt på stubben.

Benföremålet var en liten nålbindningsnål inköpt på Medeltidsmuseet i Stockholm (fig. 8).

Ytterligare uppgifter fanns inte att få. Nålen fick ligga i rumstempererat vatten i ett dygn innan prov skars ut ur ögat. Provet fick lufttorka innan det lades på samma stubbe som stenreferensen.

## 4. Resultat

### 4.1 Inventering

Någon generell skadeproblematik med sprickor, flagor eller delaminering av arkeologiska föremål av ben- och benhornmaterial kunde inte upptäckas i de fyra inventerade museimagasinen (tab. 1). Ett fåtal föremål uppvisar skador varav ca hälften uppvisade färgförändringar i eller omkring brottytorna.

De inventerade föremålen förefaller vara representativa för samlingarna även i de magasin där ett urval gjordes. Även om inte konserveringsåtgärder aktiv undersöktes föreföll majoriteten av föremål inte vara behandlade. Flertalet av föremålen var enbart nödtoftigt rengjorda.



Figur 22. Knivskaft (SM1) Stockholms stadsmuseum



Figur 23. Föremål (Si3) Sigtuna museum

Tabell 1 Resultat inventering

Magasin	Inventerade, antal	Sprickbildning, totalt	Sprickbildning, färgförändring
Göteborgs stadsmuseum	42	1	1?
Lödöse museum	Ca 208	~7	~3
Sigtuna museum	479	9	1
Stockholms stadsmuseum	198	6	2

#### *pH-mätning*

Mätning av pH gjordes på skadade ytor men då ingen färgförändring av fuktat pH-papperet gentemot vattnets pH kunde iaktas måste resultaten tolkas med försiktighet.

## 4.2 SEM-EDX

SEM-analysen gjordes sannolikt inte med tillräcklig förstoring för att kunna se eventuella pyritkristaller.

I nedanstående redovisning av resultat från EDX-mätningarna noteras inte de allmänt förekommande grundämnen syre (O) eller kol (C) utom då det är relevant. I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnen i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta. Eftersom mätpunkterna är få bör resultaten tolkas med försiktighet. Likaså är det vanskligt att kvantifiera proportionerna mellan grundämnen utifrån topparnas höjd i EDX- diagrammen.

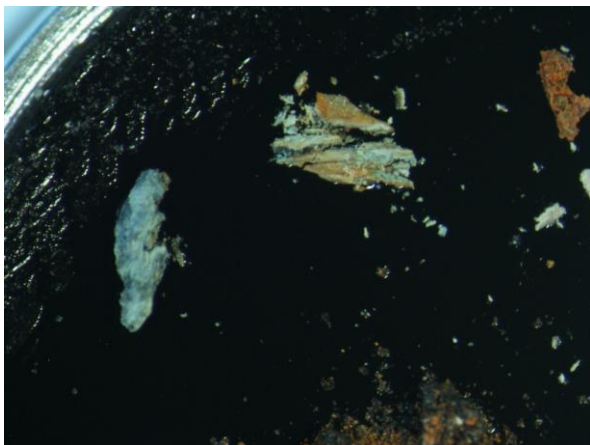
### *Referensprover*

Som förväntat innehöll stenreferensen svavel (S) och järn (Fe), de grundämnen som ingår i pyrit. Nåreferensen innehöll fosfor (P) och kalcium (Ca) vilket ingår i HAP i benmaterial (fig. 27) (tab. 2).

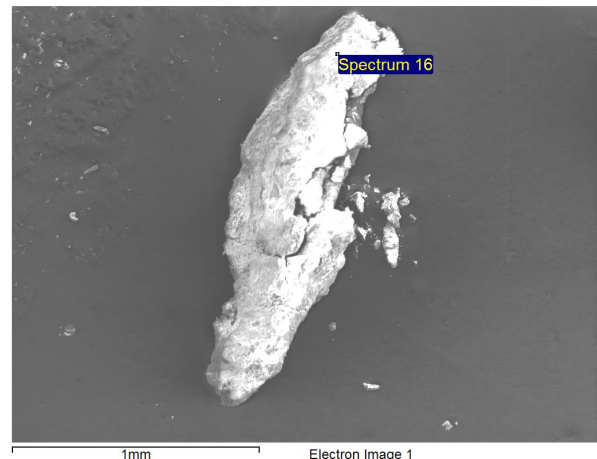
### *Skelettmaterial*

I prover från olika delar av skelettmaterialet från skeppet Kronan kunde P, Ca, S och Fe detekteras i olika mängdförhållanden från skilda områden (tab. 2, s34). Analysresultaten finns sammanställda i en rapport till OFL, bilaga II.

Den stora krustan på BenH förefaller innehålla järn och i viss mån svavel. Prov från ett ljust område på benet kan tolkas som benmaterial med ett visst innehåll av svavel (fig. 17). Den blågrå missfärgningen innehåller järn och proportionellt mer fosfor än kalcium i en jämförelse mellan provets och benreferensens P- resp. Ca-toppers höjd (fig. 26-27). Det kan förklaras som vivianit ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) (fig. 16, 24-26). Proverna från BenH granskades på fem områden med mätningar av grundämnessammansättningen på sammanlagt åtta punkter.

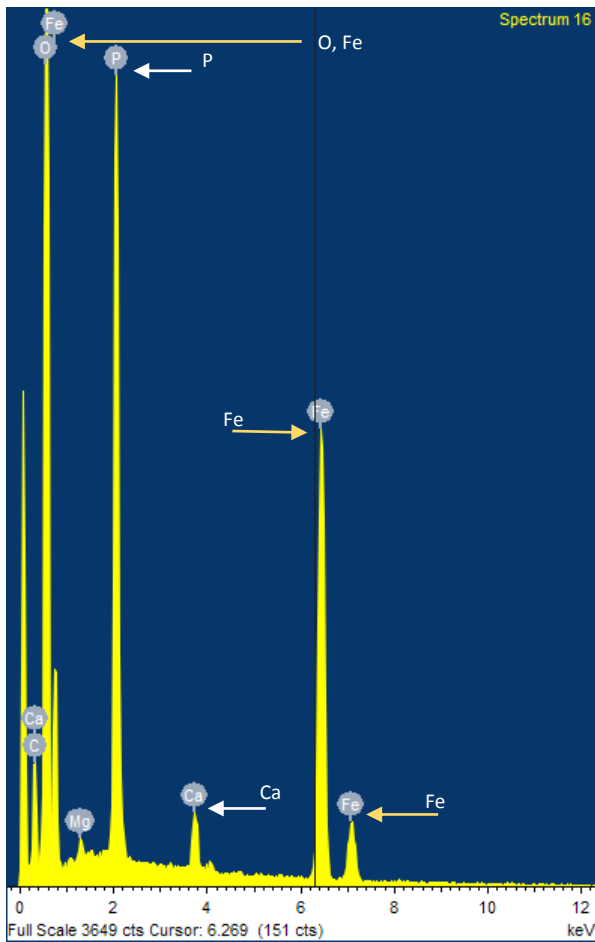


Figur 24. BenH: prov från blågrått område, ca 20x förstoring.

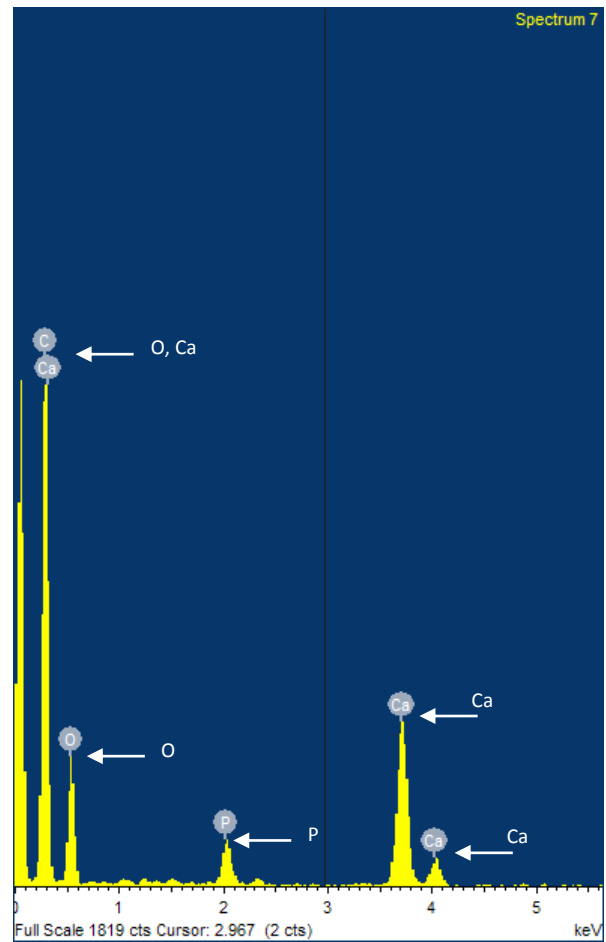


Figur 25. BenH: SEM-bild av område för EDX-mätning, figur 24, 55x förstoring.





Figur 26. BenH: EDX-diagram från område med blågrå missfärgning; P, Ca, Fe detekterat. Notera höjden på P- resp. Ca-topparna.



Figur 27. Referens, benmaterial, EDX-diagram. P, Ca detekterat. Notera höjden på P- resp. Ca-topparna.

Prov från de rödbruna missfärgningar från BenT innehåller järn och svavel. Resultat från ett svart område är svårtolkat med en hög andel kol och viss del kalcium. I övriga analyserade områden detekteras fosfor/kalcium från benmaterialet och svavel och järn från omgivningen i varierande proportioner. Prover från BenT granskades på fyra områden med mätningar på sammanlagt sju punkter.

#### *Prover från inventeringen*

Analysresultaten finns sammanställda i rapporter till resp. museum, bilaga III-V.

I prover från kompositföremålen, Lö2 och SM1, detekterades utöver fosfor och kalcium från benmaterialet även järn och svavel vilket kan vara relaterat till pyrit eller oxiderad pyrit, (fig. 3, 22, tab. 2).

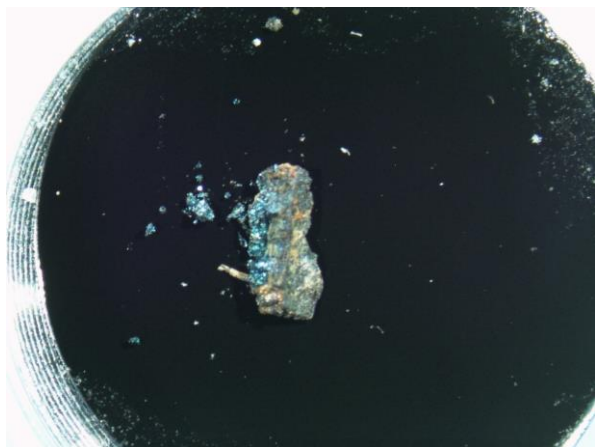
Lö2 granskades på tre områden med en mätning per område. I två av mätningarna kunde S inte detekteras. SM1 granskades på tre områden med en mätning per område. I en av mätningarna kunde S inte detekteras.

I prover från två föremål utan färgförändringar i brottytorna, Si2 och SM2, kunde inga andra grundämnen än fosfor och kalcium detekteras (fig. 9, tab. 2).

Båda granskades i ett område med en mätning vardera.

Ytterligare fem prover med olika färgförändringar analyserades (tab. 2).

Provet Lö3 togs från en spillbit utan skada men med ett missfärgat område med glittrande blågrön färg (fig. 28). Provet innehöll koppar utöver svavel och järn. Troligtvis kommer detta från den arkeologiska miljön. Provet granskades i ett område med en mätning. I två, Lö4 och Lö6, kunde järn men inte svavel detekteras. Proverna hade inte några rödbruna/bruna färgtoner utan snarare grå, blågrå färger (fig. 6, 29). Båda proverna granskades i ett område med en mätning vardera.

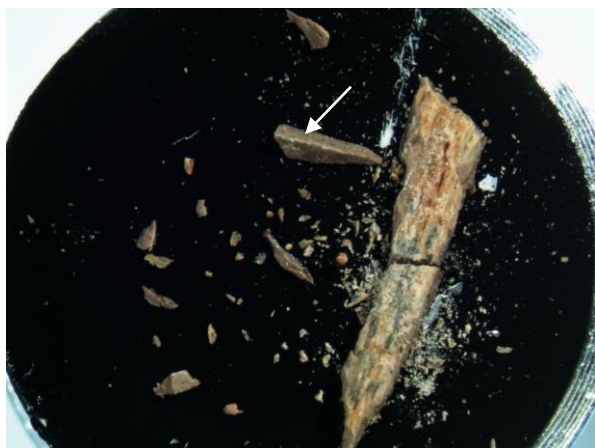


Figur 28. Lö3: grönblå missfärgning, 10x förstoring

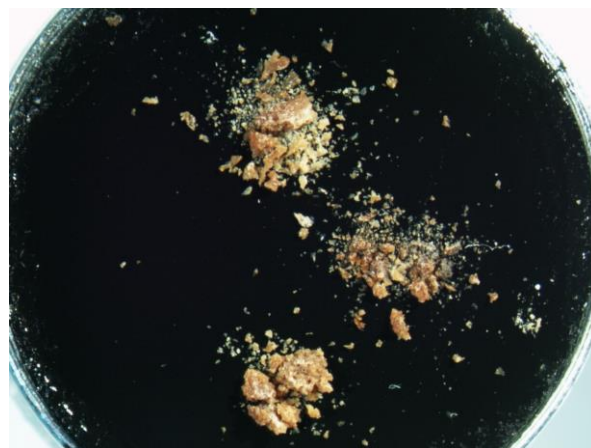


Figur 29. Lö4: grå missfärgning, 10x förstoring

Mätpunkten av Lö7 visade sannolikt inget svavel eller järn. Med tanke på provets utseende kan det misstänkas att mätpunkten inte var representativt för hela provet (fig. 30). Provet granskades i ett område med en mätning.



Figur 30. Lö7: mätpunkt markerad, notera även färgerna på den stora biten, 10x förstoring



Figur 31. Si3: rödbrun/bruna prover, 10x förstoring

Trots att färgerna i provet Si3 var rödbruna/bruna kunde inget järn detekteras (fig. 23, 31). I flera mätningar kunde inga andra grundämnen än kol detekteras, inte heller fosfor eller kalcium. Detta kan eventuellt vara ett resultat av en demineralisering av materialet. Provet granskades i tre område med sammanlagt fem mätningar.

Tabell 2. Sammanställning av referenser och prover.

Prov	Föremål	Ursprung	Skada	Färgförändring, skada	Detekterade grundämnen (EDX)
Sten	Pyritreferens	Inköpt Geoart AB. Stockholm	-	-	S, Fe
Nål, (nygjord)	Benreferens	Inköpt Medeltidsmuseet, Stockholm	-	-	P, Ca
BenH	Överarmsben	Skeppet Kronan	Krusta, sprickor	Rödbrunt, svart, blågrå	P, S, Ca, Fe
BenT	Skenben	Skeppet Kronan	Sprickor, eroderad yta	Rödbrun, svart	P, Ca, S, Fe
Lö2	Knivskaft	Lödöse museum	Sprickor, buktar utåt	Rödbrun, blågrå, gulvit	P, S, Ca, Fe
Lö3	Spill	Lödöse museum	Ingen	Glittrande, rödbrun, blågrön	S, Fe, Cu
Lö4	Spill	Lödöse museum	Flagar, delaminerar	Blågrå mörk/ljus	P, Ca, Fe
Lö6	Spill	Lödöse museum	Flagar, delaminerar	Vit, smutsig blågrå.	P, Ca, Fe
Lö7	Ämne	Lödöse museum	Gamla sprickor?	Smuts? Ev. rödbrun	P, Ca, S? Fe?
Si2	Föremål	Sigtuna museum	Sprickor	ingen	P, Ca
Si3	Kilformat städ	Sigtuna museum	Delaminerar	rödbrun	P, Ca, C
SM1	Knivskaft	Stockholms stadsmuseum	Delaminerar, flagor, kluven	Rödbrun, gråblå	P, S, Ca, Fe
SM2	Spill	Stockholms stadsmuseum	Delaminerar	ingen	P, Ca

## 5. Diskussion

I litteraturen finns mycket skrivet om pyrit och järn/svavel-problematik i skelettmaterial men inte i samband med arkeologiska föremål av ben- och benhornmaterial. Frågan är om detta speglar verkligheten eller om det finns ett problem som inte är uppmärksammat i samband med föremål.

Resultatet från inventeringen visar inte på något generellt problem med sprickbildning av ben- och benhornföremål i de undersökta museimagasin. Även i de magasin som ett urval av föremål granskades föreföll dessa vara representativa för resten av samlingarna av ben- och benhornföremål. De föremålen som uppvisade skador som troligen kan relateras till problematiken var kompositföremål, handtag till knivar (fig. 3, 22).

Inventeringen utfördes i fyra museimagasin, valda med ett visst godtycke. Det skulle vara befogat att inventera flera magasin för att få en mer heltäckande bild. Framför allt kunde det vara intressant att undersöka magasin/museer med många föremål från järnhaltig mark eller relaterade till järnhantering såväl som marinarkeologiska samlingar.

Trots att föremålen i två av magasinerna, Sigtuna och Göteborg, har förvarats i klimat utan reglering, med omväxlande för höga och för låga RF, fanns det i dessa samlingar inget stort problem med sprickbildning. Eftersom det inte förefaller vara ett generellt problem med pyrit i arkeologiska ben- och benhornföremål i museimagasin behöver inte klimatrekommendationerna revideras av den orsaken. Men eftersom enstaka föremål kan ha problem kan det vara motiverat att se över konserveringsrutiner av nyupprädda föremål.

Resultaten från SEM-EDX-analysen bör tolkas med försiktighet eftersom antalet granskade områden och mätpunkter var få. Det är stor risk att information har förbisetts liksom att mätresultat övertolkas. Förstoringen på SEM-bilderna var sannolikt inte tillräcklig för att se de pyritpartiklar som eventuellt finns. Järn och i viss mån svavel kunde påvisas i de flesta prover med färgförändringar i eller omkring brottytor.

Skelettmaterialet från skeppet Kronan som uppvisade rödbruna och svarta missfärgningar visade sig innehålla framför allt järn men även svavel i olika proportioner utöver fosfor och kalcium från benmaterialet. Ytterligare mätningar med SEM-EDX kan ge en bättre kartläggning över fördelningen av järn och svavel i benen. Resultatet var vad som kan förväntas utifrån den marinarkeologiska miljön. Noteras bör att det svavel som detekterades med SEM-EDX kan komma från krut som fanns i den marina omgivningen, inte enbart som en produkt av SRB. Svartkrut som förekom på 1600-talet innehöll svavel, salpeter (kaliumnitrat,  $\text{KNO}_3$ ) och träkol (NE.se).

Från inventeringen hade prover från de två kompositföremålen båda ett innehåll av järn och svavel förutom fosfor och kalcium från benmaterialet. Med tanke på skadornas utseende på Lö2 (fig. 3, 7) kan dessa vara relaterade till pyrit. Om enbart järnkorrosionen orsakat skador på SM1 (fig. 22) eller i vilken utsträckning pyrit har bidragit är svårt att bedöma utifrån denna analys. I proverna från skador utan färgförändringar i brottytan kunde enbart fosfor och kalcium detekteras. Det förefaller som om skadorna i dessa fall har uppkommit av andra orsaker än järn/svavel-problematik.

I de övriga analyserade prover med färgförändringar av olika slag är det värt att notera att Lö4 och Lö6 båda innehöll järn utan att visa den rödbruna färg som vanligen förknippas med järnkorrosion (fig. 6, 29). I det rödbruna/bruna prov från Si3 (fig. 23, 31) kunde inget järn detekteras. Det visar att färgförändringar är oförutsägbara och inte kan ersätta analys av den kemiska sammansättningen.

Med vissa förbehåll förefaller det rimligt att använda färgförändringar i och omkring brottytorna som kriterium för föremål med möjlig järn/svavel-problematik vid inventering. Färgförändringar kan inte användas för att bestämma närvaro ett grundämne eller kemisk förening men väl för att identifiera föremål av intresse.

SEM-EDX är inte en metod som kan detektera kemiska föreningar som pyrit. För detta krävs mer avancerade metoder som de spektroskopiska metoder, såsom de som använts för marinarkeologiskt trä. (Fors, Jalilehvand, & Sandström, 2011).

För att påvisa pyritpartiklar med SEM-EDX behövs en kombination av bild på dessa och en grundämnesanalys som samtidigt detekterar järn och svavel i proportionerna 1:2. Utan bild på partiklar kan förekomst av järn och svavel enbart gissningsvis antas vara pyrit. Förstoringen som krävs är större än de som användes i denna uppsats.

Om pyrit inte kan detekteras kan det ha olika orsaker utöver en otillräcklig analys. Det kan eventuellt aldrig ha funnits någon pyrit. Det är heller inte osannolikt att anta att en oxidering har skett i samband med utgrävningen eller vid förvaring i ostabil RF.

Eftersom proverna tog från gamla skador som varit exponerade för luftens syre länge, kan eventuell pyrit oxiderats. Det finns även en risk för kontaminering – överföring av ämnen från omgivningen.

### *Konservering*

Inom ramen för denna uppsats genomfördes ingen aktiv konservering. Genomgång av konserveringslitteraturen som berör pyrit- eller järn/svavel-problematik ger få lösning på problem i arkeologiskt ben- och benhornmaterial.

Phillips (2012) gör i sin förstudie försök med att neutralisera den syra som bildas av oxiderad pyrit med ammoniakgas. Eventuell kvarvarande pyrit påverkas inte av denna behandling. Principen har använts på marinarkeologiskt trä (Fors & Richards, 2010).

Turner-Walker (2009) rekommenderar långvarig sköljning i vatten med en efterföljande impregnering med glycerol. Benen får därefter torka långsamt. Det syrerika vattnet ska få instabil pyrit att oxidera och dess oxidationsprodukter kan sköljas bort innan de kan skada. Vilken funktion glycerol fyller i sammanhanget är inte klart.

En första viktig åtgärd för föremål med en pyritproblematik är att kontrollera det omgivande klimatet. RF ska hållas inom gränsvärden för ben- och benhornmaterial som är  $50\% \pm 5$ . Klimatet ska hållas stabilt eftersom växlingar i RF innebär ytterligare påfrestningar i ett redan känsligt föremål.

Ett sätt att komma runt problemet med oxiderande joner är att utestänga syre. I gamla metoder för att skydda fossil- och geologiska samlingar användes olika ytbehandlingar med otillfredsställande resultat. Inga substanser som linolja, paraffin eller shellack var täta nog för att förhindra syre från att tränga in (Howie, 1992, ss 73 ff).

En modern lösning är en syrefri förvaring. Det finns olika fabrikat av barriärfilmer för förpackningar och syreabsorbenter (Fjæstad, Åkerlund, & Bergh, 2003) *etal.* Det är en lösning som kan passa för mycket känsliga och värdefulla föremål som ska förvaras i magasin. Den passar även bra för kompositföremål där materialen kan ha oförenliga krav på RF. Nackdelen är att förpackningen måste kontrolleras kontinuerligt och bytas ut när de blivit otäta. Föremål blir dessutom svåra att detaljstudera för arkeologer och andra intresserade.

Det förefaller som om järn i olika former kan ställa till problem på egen hand även i ben- och benhornmaterial. Det är därför relevant att undersöka konserveringsmetoder som behandlar denna problematik.

Kelatbindare som dietylentrinaminpentaättiksyra (DTPA) och i viss mån etylendiamintetraättiksyra (EDTA) används flitigt för järnurlakning av bl. a. marinarkeologisk trä (Almkvist & Persson, 2006). Dessa bildar komplex med svårlösliga joner varvid hela komplexet kan sköljas bort. Men förutom järnjoner som  $\text{Fe}^{3+}$  binder kelatbindare även kalciumjoner  $\text{Ca}^{2+}$ , en av de viktiga beståndsdelarna i HAP. Försök med järnurlakning av benföremål med bland annat EDTA har tydligt visat på förlust av den oorganiska komponenten vilket orsakade demineralisering av materialet (Godfrey et al., 2002).

Det har även gjorts försök med att mätta EDTA och DTPA med kalcium före urlakning. Detta skulle reducera förlusten av  $\text{Ca}^{2+}$  från benet. Resultatet blev att materialet inte tog märkbar skada men mängden urlakat järn var litet (Crawshaw & Felter, 2010).

#### *Ytterligare studier*

Som nämnts är det relevant att utföra inventeringar på ytterligare magasin, gärna med samlingar med föremål relaterade till järn. Även samlingar med marinarkeologiska föremål är intressant att studera eftersom pyritproblem är välkänt i träföremål från den kontexten.

I denna inventering uteslöts sammansatta kammar eftersom det var vanskligt att bestämma orsaken till skador. Det kan vara intressant att undersöka om det finns specifika bevarings- och konserveringsproblem kopplade till just sammansatta kammar. Eftersom kammar kan ordnas i en typologi förefaller de vara av stort intresse för arkeologer och andra.

Det vore intressant att undersöka om det finns en skillnad mellan benmaterialet i skelett och föremål funna i en arkeologisk kontext. En sådan undersökning kan t. ex. göras som en jämförelse mellan skelettmaterial och benföremål från skeppet Kronan. Marinarkeologiska undersökningar har gjort sedan 1980-talet och både benföremål och ben ursprungligen ämnade som mat, har bärgats sedan dess.

Det kan vara värdefullt att veta om kunskap från skelettmaterial kan överföras till benföremål. Benmaterialet i skelett och föremål är i grunden det samma men det finns faktorer som varierar. En skillnad uppstår redan innan benen begravs. Enligt Hollund (2012) kan en skillnad mellan människo- och djurben förklaras med att människoben är begravda som hela kroppar medan djurbenen ofta är styckade. Skillnad i bakteriemängd under den första tiden i jorden kan påverka bevarandet av materialet. Ben ämnade till föremål behöver genomgå någon form av bearbetning som sjudning för att få fram råmaterial för tillverkning. Det har konstaterats att även uppvärmning till relativt låga temperaturer förändrar kollagenet. Det betyder att benmaterialet i föremål är något förändrat jämfört med skelettmaterial innan det hamnar i jorden. (Koon et al., 2003)

Ytterligare en skillnad mellan skelettmaterial och benföremål är urvalet av ben. Mycket av skelettmaterialet från utgrävningar är relaterat till mat. Djuren slaktades när de nått maximal slaktvikt, i regel som ungdjur. Det ideala materialet för tillverkning av föremål var från vuxna djur med dess fullt utvecklade skelett. Denna skillnad mellan skelettmaterial och benföremål har hittats i arkeologiska sammanhang (Colominas, 2013).

## 6. Sammanfattning

Det finns inte mycket skrivet om pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) i arkeologiska föremål av ben- och benhornmaterial till skillnad från andra material som sten, marin arkeologiskt trä såväl som arkeologiskt skelettmaterial. Beror det på ett upptäckt problem i ben/benhornföremål?

Sekundärt bildad pyrit är instabil och oxideras lätt vid kontakt med syre och fukt vilket gör det känsligt för höga RF-nivåer. Skador kan uppkomma genom att oxidationsprodukterna har en större volym vilket ger en sprängverkan på omgivande material. En pH-sänkning kan dessutom vara skadlig.

Resultatet från en inventering på fyra museimagasin visar att få föremål uppvisade skador som sprickor, flagor eller delaminering. Av de föremål som uppvisade skador hade cirka hälften missfärgningar i eller omkring brottytan som kan vara relaterade till en järn/svavel-problematik. Mest tydligt var detta på två kompositföremål i form av knivskaft.

Ytterligare inventering bör göras, gärna av samlingar med föremål relaterade till järnhantering och marin arkeologiska samlingar, för att ytterligare kartlägga omfattningen av problematiken runt järn/svavel i arkeologiska ben- och benhornföremål.

Prover som tog i samband med inventeringen analyserades med SEM-EDX. Prover från marin arkeologiskt skelettmaterial från skeppet Kronan analyserades samtidigt.

Grundämnen fosfor och kalcium från benmaterialets oorganiska komponent (HAP) kunde påvisas liksom järn och svavel i vissa fall.

Proverna från skelettmaterialet från skeppet Kronan visade svavel och järn i olika proportioner i olika områden tillsammans med fosfor och kalcium. I två proverna från kompositföremål kunde både svavel och järn detekteras, utöver fosfor och kalcium. I prover från föremål utan missfärgning kunde enbart fosfor och kalcium från benmaterialet detekteras.

Den sammanlagda tolkningen blir att inga generella problem i form av sprickor, flagor eller delaminering i arkeologiska föremål av ben- och benhornmaterial kan upptäckas i museimagasin. Dock uppvisade enstaka föremål skador som kan vara orsakade av pyritoxidering. Det förefaller som en revidering av de generella klimatrekommendationerna för ben- och benhornmaterial inte är nödvändig. Däremot kan en översyn av konserveringsrutiner övervägas för specifika föremål med en misstanke om järn/svavel-problematik.

## Termer och förkortningar

DTPA	Dietyltriaminpentaättiksyra, kelatbindare
EDTA	Etylendiamintetraättiksyra, kelatbindare
Föremål	I denna uppsats avses föremål av bearbetat material.
HAP	Hydroxyapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
Kompaktasystem	System med flyttbara hyllor i sidled, används i museimagasin
Pyrit	$\text{FeS}_2$ , järn(II)sulfid, kattguld
RF	Relativ luftfuktighet, uttryckt i procent
SEM-EDX	svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) – energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX)
Skelettmaterial	I denna uppsats menas ben som inte är medvetet bearbetade.
SRB	Sulfatreducerande bakterier



## Käll- och litteraturförteckning

Samtliga bilder är tagna av författaren.

### Otryckta källor

- Informant 1: Anna Kjellström, osteolog, Osteoarkeologiska forskningslaboratoriet, Stockholms Universitet  
Informant 2: Jessica Lindevall, konservator, Göteborgs stadsmuseum  
Informant 3: Sonja Jeffrey, antikvarie/ärkeolog, Lödöse museum, Västarvet  
Informant 4: Lisen Tamm, konservator Sigtuna museum  
Informant 5: Mikael Johansson, Samlingsenheten, Stockholms stadsmuseum  
Informant 6: Jonny Bjurman, professor, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet.

Phillips, E. (2012). *Nedbrytningsstudie av arkeologiskt benmaterial*. Studio Västsvensk Konservering. Göteborg. Förstudie.

### Tryckta källor och litteratur

- Almkvist, G., & Persson, I. (2006). Extraction of iron compounds from wood from the Vasa. *Holzforschung*, 60(6), 678-684.
- Ambrosiani, K. (1981). *Viking Age Combs, Comb Making and Comb Makers: in the Light of Finds from Birka and Ribe*. Stockholms univ., Stockholm.
- Artioli, G. (2010). *Scientific Methods and Cultural Heritage : an Introduction to the Application of Materials Science to Archaeometry and Conservation Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Caple, C. (2000). *Conservation Skills: Judgement, Method and Decision Making*. London: Routledge.
- Christensson, E. (1999). Ben, horn och likartade material. I M. Fjæstad (red.), *Tidens tand : förebyggande konservering : magasinshandboken* (ss. 165-177). Stockholm: Riksantikvarieämbetet.
- Colominas, L. (2013). Specialization or re-utilization? Study of the selection documented in a bone-working refuse assemblage from Roman *Baetulo* (Badalon, Spain). In A. M. Choyke (Ed.), *From These Bare Bones: Raw Materials and the Study of Worked Osseous Objects*. (ss. 88-95). Paris: Oxbow Books.
- Crawshaw, A., & Felter, M. (2010). *Possible Use of Chelates of Calcium to Remove Iron from Bone, Ivory, Teeth and Antler*. Paper presented at the The 11th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville 2010.
- Cronyn, J. M., & Robinson, W. S. (1990). *The Elements of Archaeological Conservation*. London: Routledge. WOAM. ss 463-472
- Einarsson, L. (1990). Kronan - underwater archaeological investigations of a 17th-century man-of-war. The nature, aims and development of a maritime cultural project. *International Journal of Nautical Archaeology*, 19(4), 279-297.
- Fjæstad, M., Åkerlund, M., & Bergh, J.-E. (2003). *Syrefria mikroklimat : förebyggande konservering*. Stockholm: Riksantikvarieämbetets förlag.

- Fors, Y. (2008). *Sulfur-Related Conservation Concerns in Marine Archaeological Wood: The Origin, Speciation and Distribution of Accumulated Sulfur with Some Remedies for the Vasa*. (Diss), Stockholms universitet.
- Fors, Y., Jalilehvand, F., Damian Risberg, E., Björdal, C., Phillips, E., & Sandström, M. (2012). Sulfur and iron analyses of marine archaeological wood in shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian waters. *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2521-2532.
- Fors, Y., Jalilehvand, F., & Sandström, M. (2011). Analytical aspects of waterlogged wood in historical shipwrecks. *Analytical Sciences*, 27(8), 785-792.
- Fors, Y., & Richards, V. (2010). The effects of the ammonia neutralizing treatment on marine archaeological vasa wood. *Studies in Conservation*, 55(1), 41-54.
- Godfrey, I. M., Kasi, K., Schneider, S., & Williams, E. (2002). *Iron Removal from Waterlogged Ivory and Bone*. Paper presented at the International Council of Museums. Committee for Conservation. Working Group on Wet Organic Archaeological Materials. Conference, Stockholm. ss 527-553
- Hollund, H. I., Jans, M. M. E., Collins, M. J., Kars, H., Joosten, I., & Kars, S. M. (2012). What happened here? Bone histology as a tool in decoding the postmortem histories of archaeological bone from Castricum, The Netherlands. *International Journal of Osteoarchaeology*, 22(5), 537-548.
- Howie, F. M. (1992). *The Care and Conservation of Geological Material : Minerals, Rocks, Meteorites, and Lunar Finds*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hurcombe, L. (2007). *Archaeological Artefacts as Material Culture*. London: Routledge.
- Koon, H. E. C., Nicholson, R. A., & Collins, M. J. (2003). A practical approach to the identification of low temperature heated bone using TEM. *Journal of Archaeological Science*, 30(11), 1393-1399.
- MacGregor, A. (1985). *Bone, Antler, Ivory, and Horn: the Technology of Skeletal Materials Since the Roman Period*. Totowa: Barnes & Noble.
- Nelson, D. L., Cox, M. M., & Lehninger, A. L. (2000). *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York: Worth.
- Selwyn, L. (2004). *Metals and Corrosion: a Handbook for the Conservation Professional*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Turner-Walker, G. (2009). *Degradation Pathways and Conservation Strategies for Ancient Bone from Wet Anoxic Sites*. Paper presented at the The 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological materials Conference. Nederlandse Archeologische Rapporten (NAR) Amsterdam. ss 659-676.

## Elektroniska källor

- Constantine, D. (2014). *Working with Bone, Antler and Horn*  
<http://www.scribd.com/doc/220044982/Working-With-Bone-Antler-and-Horn-David-Constantine-1-4#scribd> [hämtad 7 mars 2015]
- NE.se [Elektronisk resurs]. (2000). från Nationalencyklopedin <http://www.ne.se>

# Bilagor

## Bilaga I Inventeringsformulär

Nr	Musei-nummer	Namn föremål	Material	Bearb-grad	Spricka ja/nej	Beskrivning skada	Färgförändring brottyta	Prov ja/nej	pH	Foto
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Nr	Övrigt	Utgrävd år	Till magasin	Tidsperiod
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

2 (2)

## Bilaga II Rapport skeppet Kronan

14 maj 2015

### Rapport analysresultat på skelettmaterial från skeppet Kronan

Resultat av SEM-EDX-analyser utförda som en del av uppsats för kandidatexamen inom Konservatorsprogrammet, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet.

Utfört av Emma K Emanuelsson

#### **Metod:** Analys med SEM-EDX

SEM-EDX kombinerar två metoder: svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) och energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX). SEM ger en förstora bild och EDX en grundämnesanalys.

Prover togs under arbetsmikroskop x10 förstoring, från representativa områden utifrån utseende och lades direkt på provhållare för SEM-EDX.

Eftersom mätpunkterna är få bör resultatet tolkas med försiktighet.

Fosfor (P) och kalcium (Ca) kommer troligen från den oorganiska komponenten hydroxyapatit (HAP,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) i benmaterialet. Svavel (S) och järn (Fe) ingår inte i benmaterialets struktur.

**Material:** Ben från ko/kalv, humerus (överarmsben) resp. tibia (skenben) från skeppet Kronan.

#### **Sammanfattande resultat:**

Ben, humerus: Benet har en stor krusta av korrosionsprodukter som förefaller innehålla järn och i viss mån svavel. En blågrå missfärgning innehåller en viss del järn och svavel och mer fosfor än vad som enbart kan beräknas komma från benmaterialet. Det kan förklaras som vivianit ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). Prov från ljusst område kan tolkas som benmaterial med ett visst innehåll av svavel.

Ben, tibia: Prov från rödbruna missfärgningar innehåller järn och svavel. Resultat från svart område är svårtolkat med en hög andel kol och viss del kalcium. Övriga analyserade områden indikerar fosfor/kalcium från benmaterial och svavel och järn från omgivningen i varierade proportioner.

### Beskrivning : humerus

Benet har en stor krusta av korrosionsprodukter (fig. 1 och 2).

Hela benet är kraftigt missfärgad i rödbrunt och svart. På ett litet område finns även en blågrå missfärgning (fig. 4). Benet har sprickor men den stora krustan gör det svårt att avgöra om sprickorna går i benet, krustan eller däremellan.

SEM-EDX-analys på 5 mätområden med 1-3 EDX-punkter/mätområde

I nedanstående tolkning och redovisning noteras inte de allmänt förekommande grundämnen syre (O) eller kol (C). I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnen i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta.

### Tolkning av resultat:

Prover för mätområde 1 och 3 är tagna från korrosionskrustan.

Den analyserade punkten på område 1 innehåller höga halter S och Fe jämfört med Ca (fig. 5-7). På område 3 innehåller mätpunkten höga järn (Fe) och något svavel (fig. 11-13).

Kan sammantaget tolkas som krustan främst innehåller järn och delvis svavel.

Prov för mätområde 2 är tagna på ett ljust område som kan antas vara benmaterial (fig. 3). Den analyserade punkten innehåller framför allt P och Ca och enbart låga nivåer S (fig. 8-10). Kan tolkas som benmaterial med visst innehåll av svavel.

Prover för mätområde 4 och 5 är tagna på området med den blågrå missfärgningen.

Område 4 har tre punktmätningar som visar innehåll av växlande mängder av P, Ca, S och F (fig. 14-18).

På område 5 innehåller Fe och höga halter P jämfört med Ca (fig. 19-21).

Område 4 kan tolkas som benmaterial med visst innehåll med svavel och järn. Område 5 kan den höga halten fosfor tolkas som en förekomst av en järn/fosfor-förening.



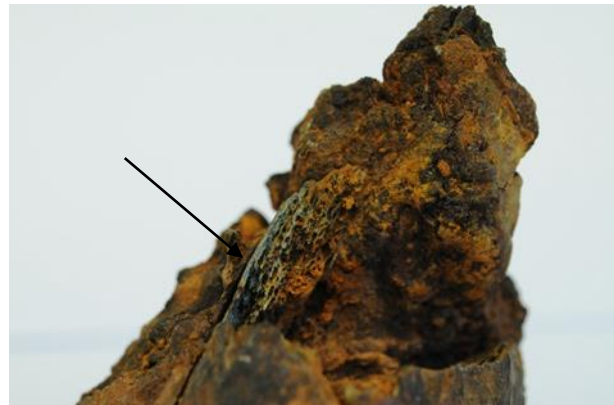
Figur 1. Ben från ko/kalv, humerus



Figur 2. Ben från ko/kalv, humerus

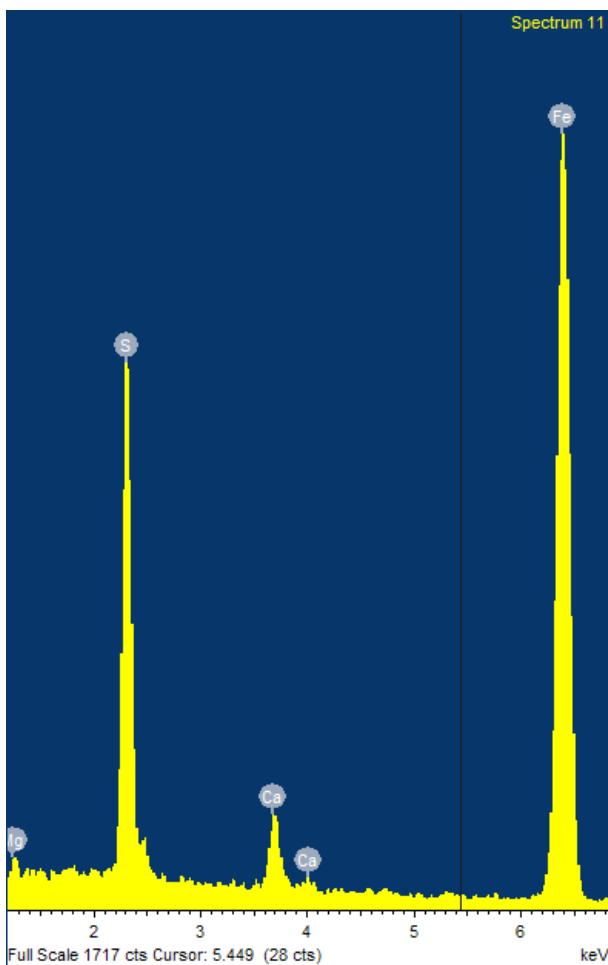


Figur 3. Detalj humerus, pil indikerar område för mätområde 2

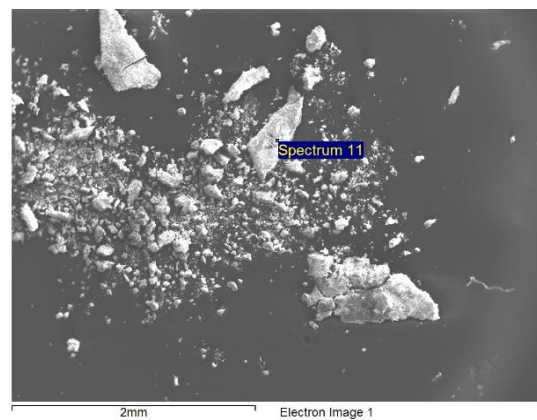


Figur 4. Detalj humerus, pil indikerar var provtaget för mätområde 4 och 5

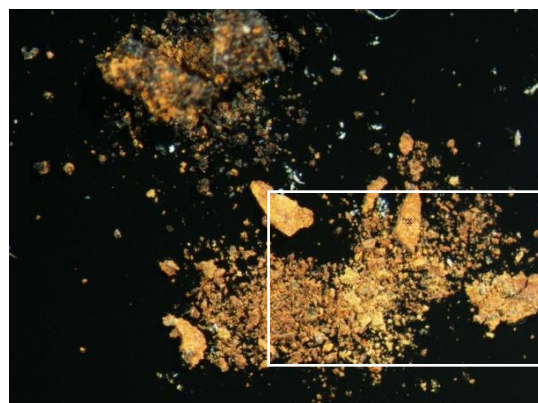
### Mätområde 1



Figur 5. EDX-diagram: Ca, S, Fe detekterat

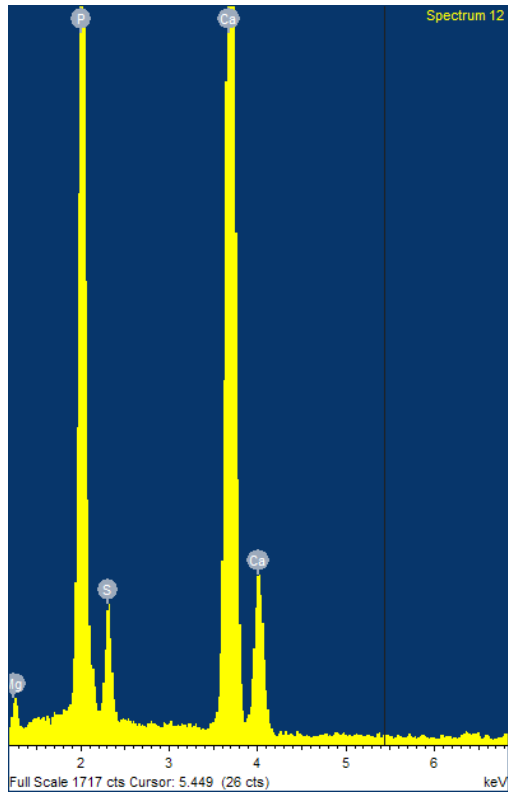


Figur 6. SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring

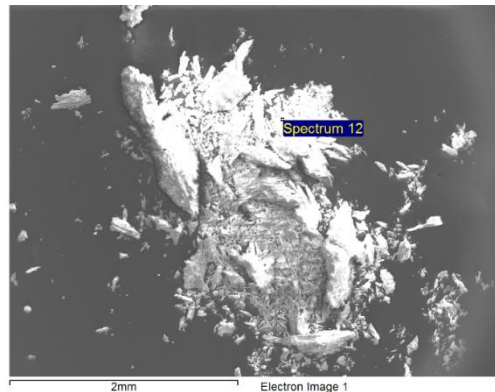


Figur 7. Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 20x förstoring

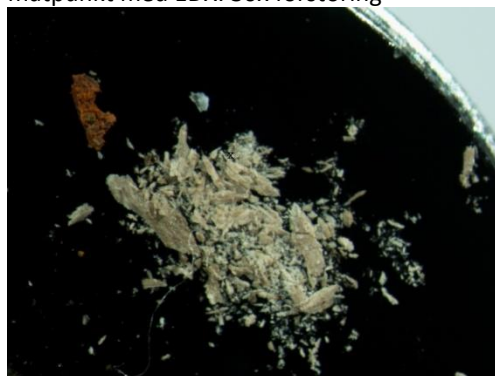
### Mätområde 2



Figur 8. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

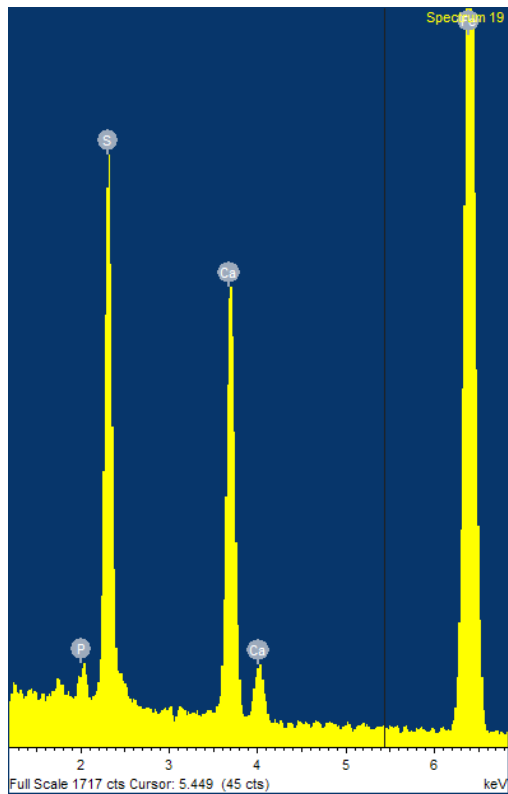


Figur 9. SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring

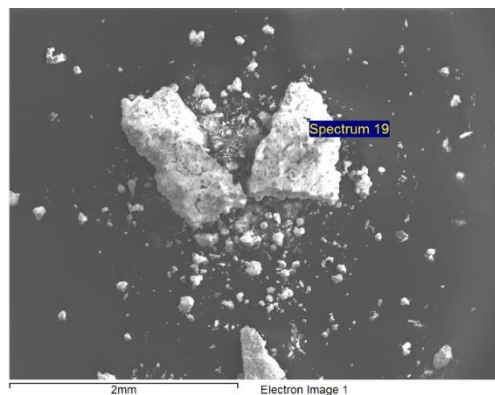


Figur 10. Mikroskopbild. ca 20x förstoring

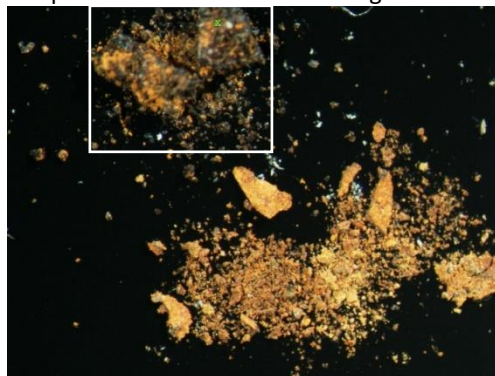
### Mätområde 3



Figur 11. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat



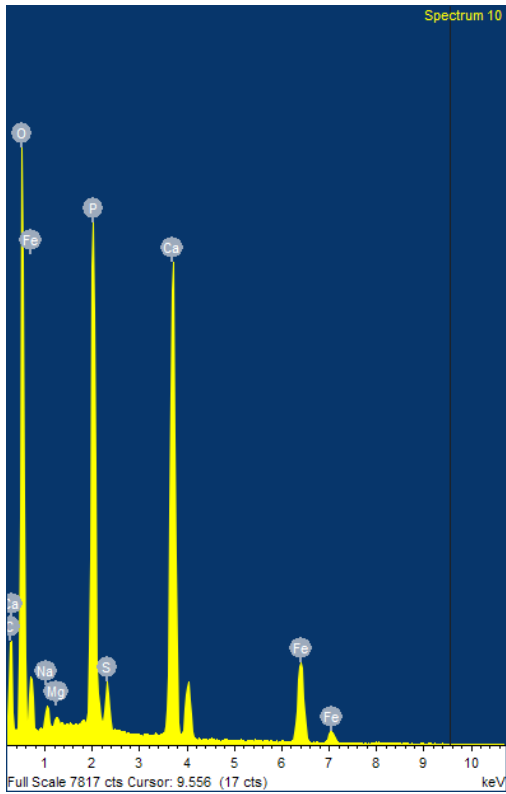
Figur 12. SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



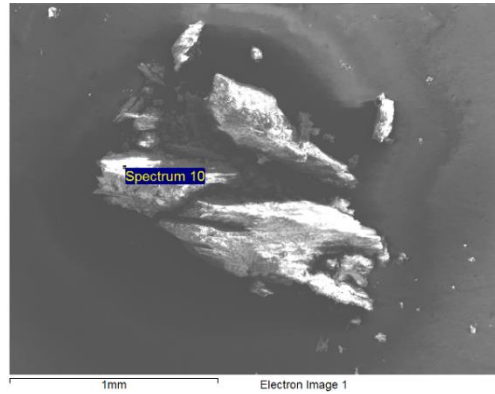
Figur 13. Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 20x förstoring



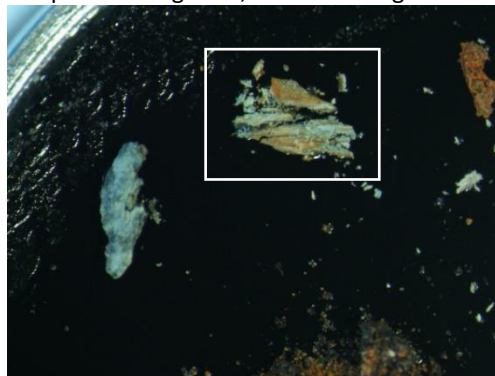
Mätområde 4



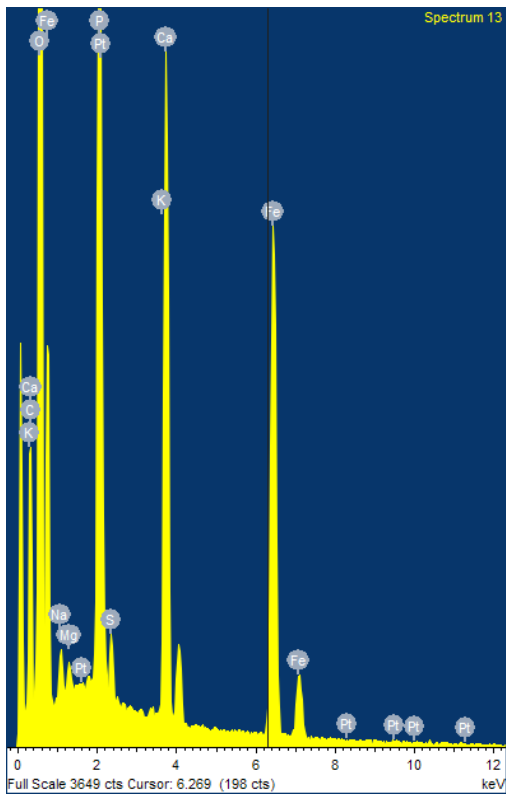
Figur 14. EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



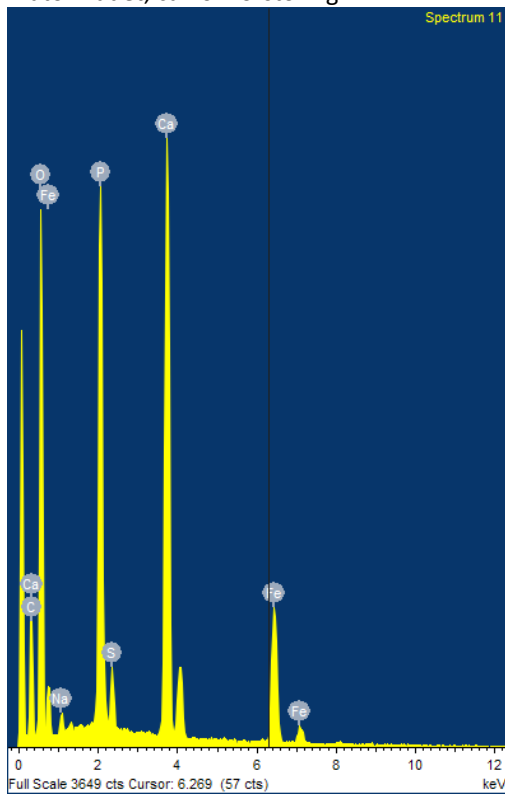
Figur 15. SEM-bild över området, markering av mätpunkt för figur 11, 55x förstoring.



Figur 16. Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområdet, ca 20x förstoring

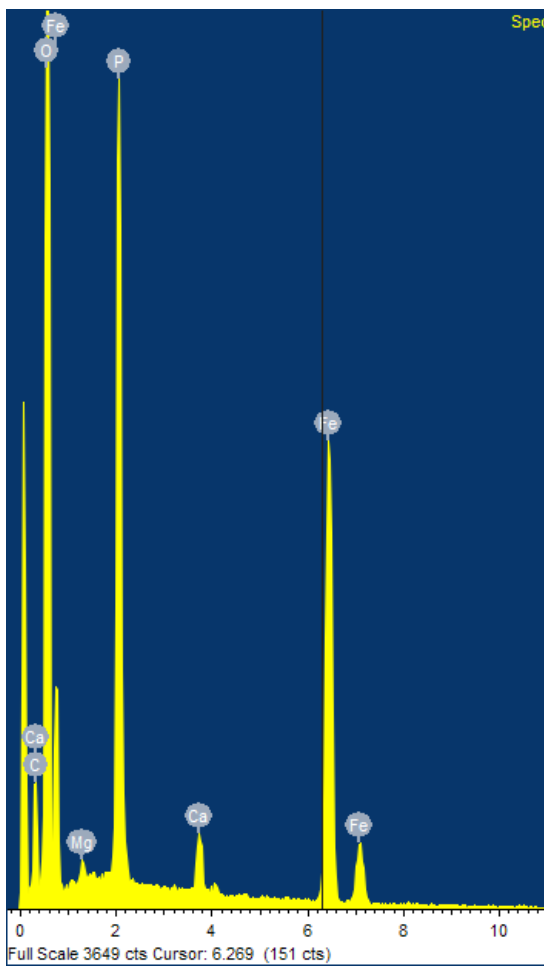


Figur 17. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

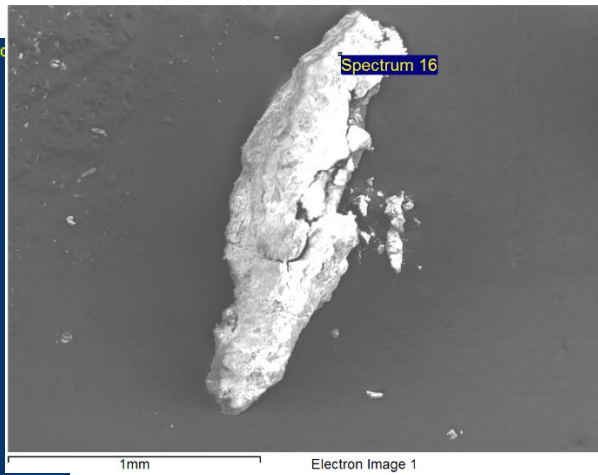


Figur 18. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

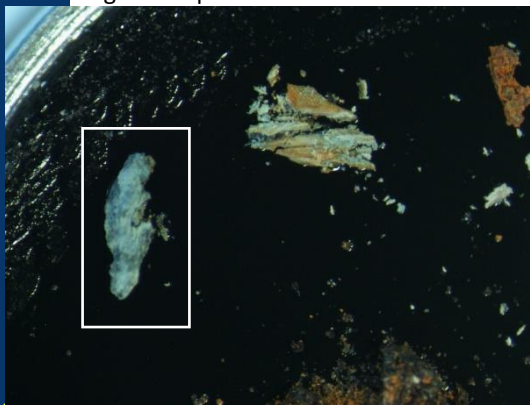
## Mätområde 5



Figur 19. EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



Figur 20. SEM-bild över området., 55x förstoring, markering av mätpunkt.



Figur 21. Mikroskopbild, ca 20x förstoring, ungefärlig markering över mätområdet.

### Beskrivning : tibia

Beskrivning: Benet är missfärgad framförallt av svart och i mindre omfattning rödbrunt (fig. 22-23). Flera kraftiga sprickor med rödbruna missfärgningar, löper längs benet (fig. 24). Benet är eroderat och det spongiösa inre syns (fig. 25).

SEM-EDX-analys på 4 mätområden med 1-3 EDX-punkter/mätområde

I nedanstående tolkning och redovisning noteras inte de allmänt förekommande grundämnen syre (O) eller kol (C). I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnen i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta.

### Tolkning av resultat:

Den analyserade punkten på mätområde 1 innehåller låga mängder Ca och i övrigt kol (C) (fig. 26-28).

I område 2 är tre punktmätningar utförda. Dessa visar P, Ca, S, Fe i olika förhållanden (fig. 29-33).

I figur 29 överväger S och Fe men även P och Ca förekommer.

I figur 32 dominerar S

I figur 33 dominerar P och Ca men även S och Fe förekommer.

Till område 3 finns inga korresponderande SEM- eller mikroskopbilder. Punktmätning visar en övervikt av P och Ca med förekomst av S och Fe (fig. 34=)

Till område 4 finns inga korresponderande SEM- eller mikroskopbilder. Två punktmätningar.

I figur 35 överväger P och Ca men även S och Fe förekommer.

I figur 36 dominerar S.



Figur 22. Ben från ko/kalv skenben (tibia)



Figur 23. Ben från ko/kalv skenben (tibia)



Bild 3. Detalj humerus, pil indikerar område för mätområde 2

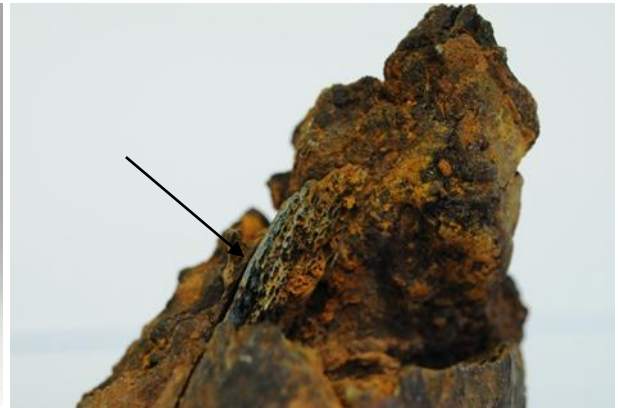


Bild 4. Detalj humerus, pil indikerar var provtaget för mätområde 4 och 5

### Mätområde 1

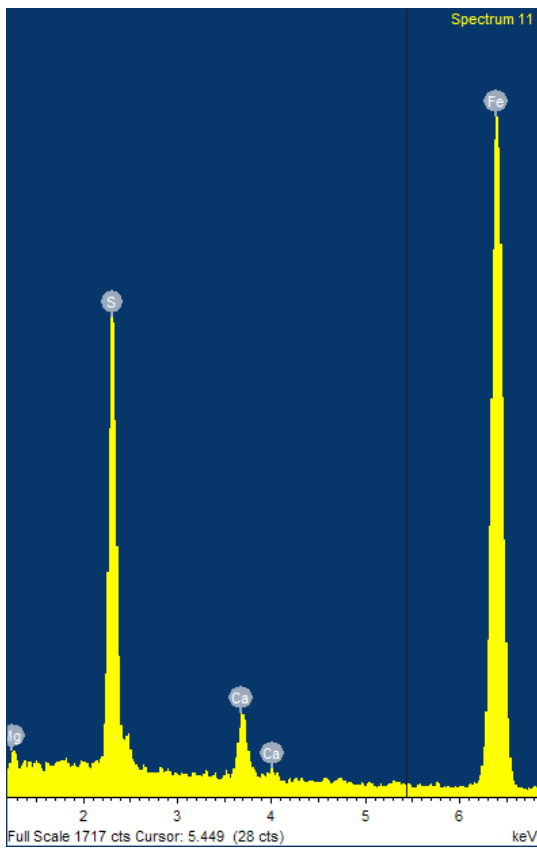


Bild 5. EDX-diagram: Ca, S, Fe detekterat

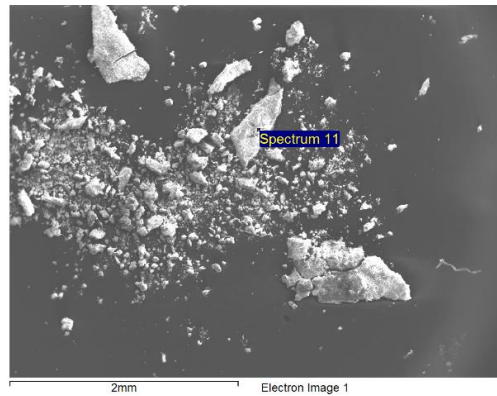


Bild 6. SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring

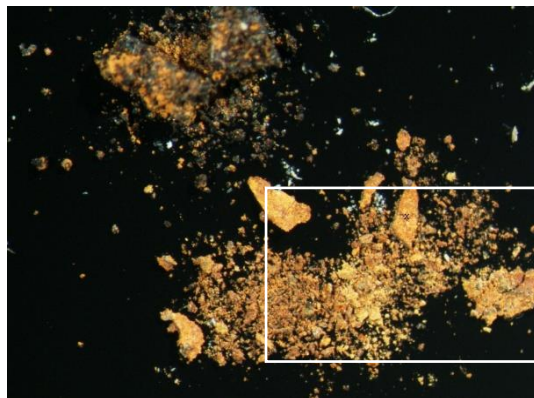
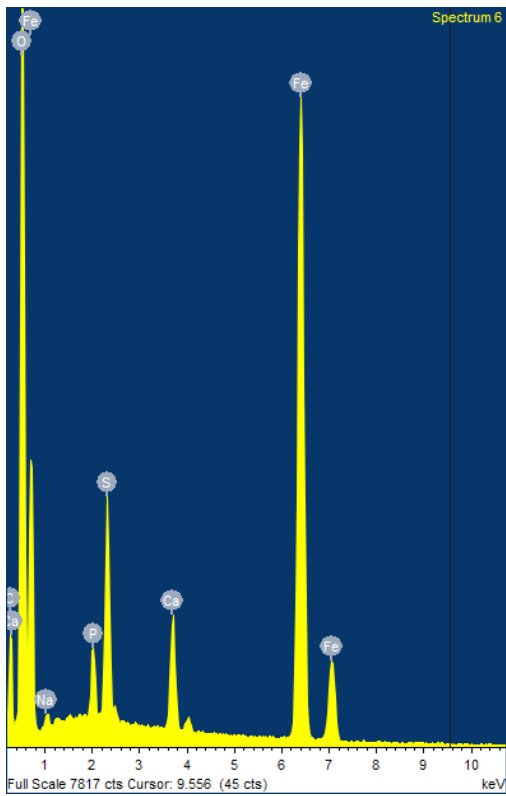
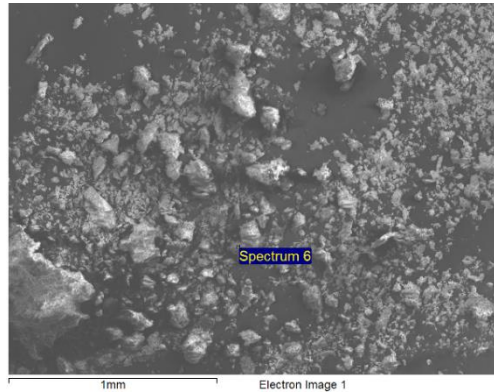


Bild 7. Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 20x förstoring

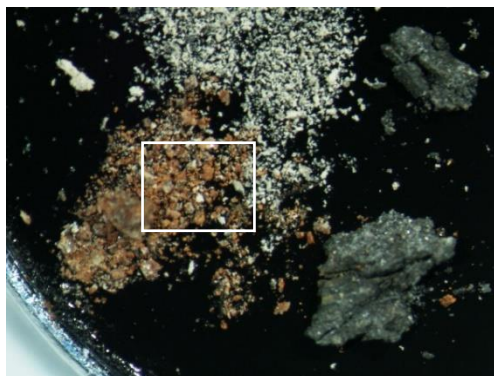
## Mätområde 2



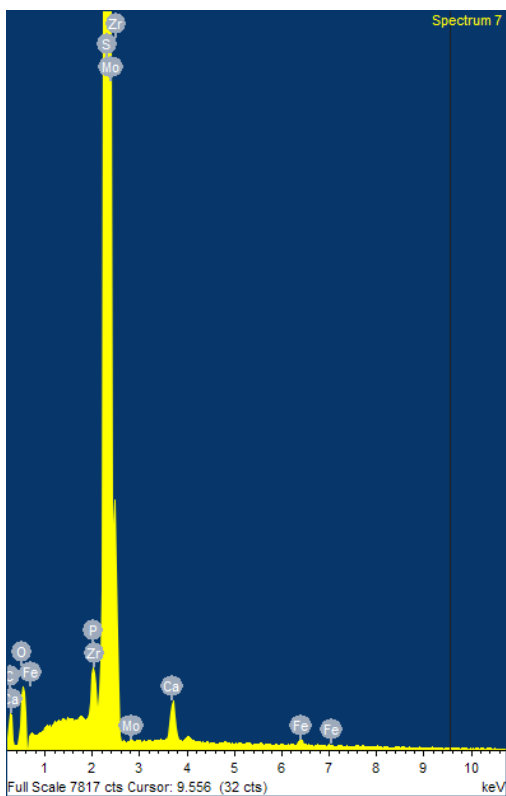
Figur 29. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat



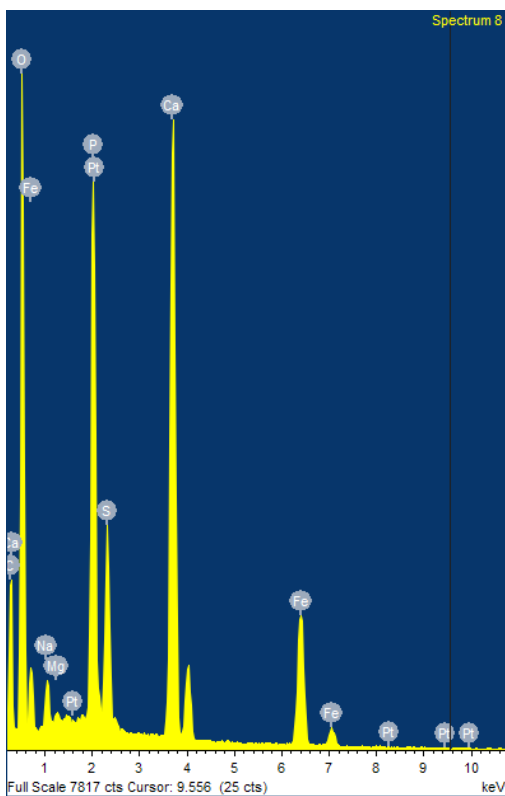
Figur 30. SEM-bild över området, markering av mätpunkt för bild 29, 55x förstoring.



Figur 31. Mikroskopbild, ca 20x förstoring, ungefärlig markering över mätområdet.

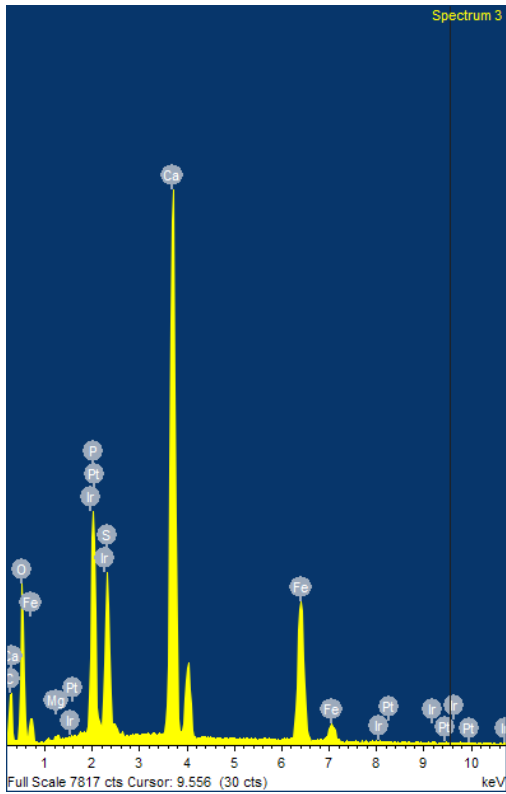


Figur 32. EDX-diagram: S detekterat, i mindre mängd: P, Ca, Fe



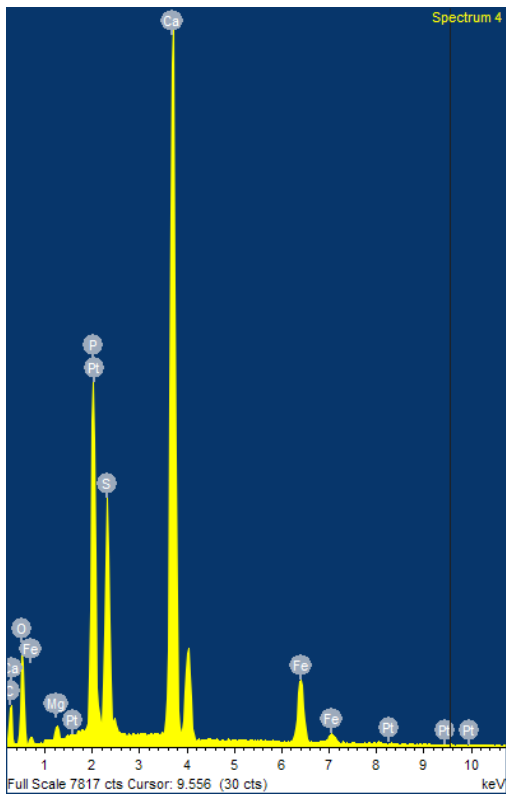
Figur 33. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

### Mätområde 3.

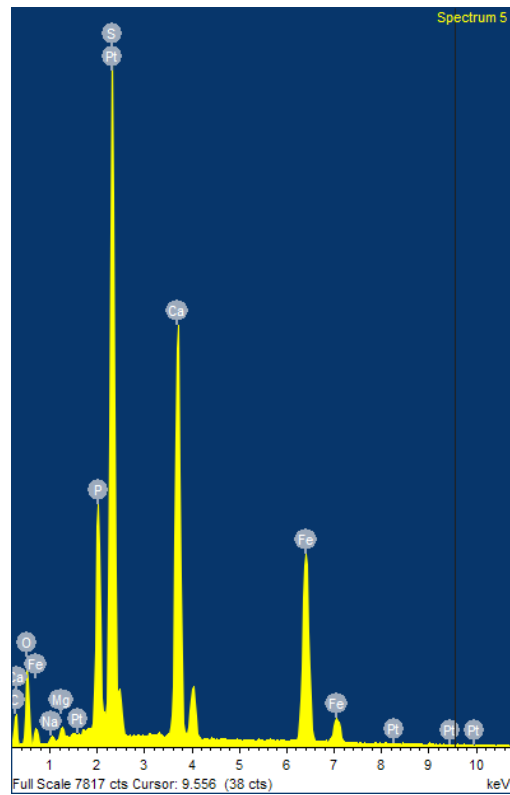


Figur 34. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

### Mätområde 4



Figur 35. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat



Figur 36. EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat

### Rapport analysresultat från arkeologiska benföremål, Lödöse museum

Resultat av SEM-EDX-analyser utförda som en del av uppsats för kandidatexamen inom Konservatorsprogrammet, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet.

Utfört av Emma K Emanuelsson

#### **Metod:** Analys med SEM-EDX

SEM-EDX kombinerar två metoder: svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) och energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX). SEM ger en förstörd bild och EDX en grundämnesanalys.

Prover tog i form av från lösa flagor som togs i samband med inventering 25 mars 2015. Inför analys lades proven på provhållare för SEM-EDX under arbetsmikroskop, x10 förstoring.

Eftersom mätpunkterna är få bör resultatet tolkas med försiktighet

Fosfor (P) och kalcium (Ca) kommer troligen från den oorganiska komponenten hydroxyapatit (HAP,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) i benmaterialet. Svavel (S) och järn (Fe) ingår inte i benmaterialets struktur.

I nedanstående tolkning och redovisning noteras inte de allmänt förekommande grundämnena syre (O) eller kol (C). I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnena i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta.

**Prover:** prover är tagna på 27600/69 AD1772 (knivskaft), 1103 (spill), CB2 380 (spill), DC 2487 (spill), 27600/68 PA224 (fragment)

#### **Summering av resultat:**

27600/69 AD1772 (Lö2): utöver fosfor och kalcium från benet (HAP) kunde även järn och svavel detekteras vilket kan vara relaterat till pyrit eller oxiderad pyrit.

1103 (Lö3): Provet visade sig innehålla koppar utöver svavel och järn. Sannolikt kommer detta från den omgivande jorden.

CB2 380 (Lö4): järn kunde detekteras men inte svavel.

DC 2487 (Lö6): järn kunde detekteras men inte svavel.

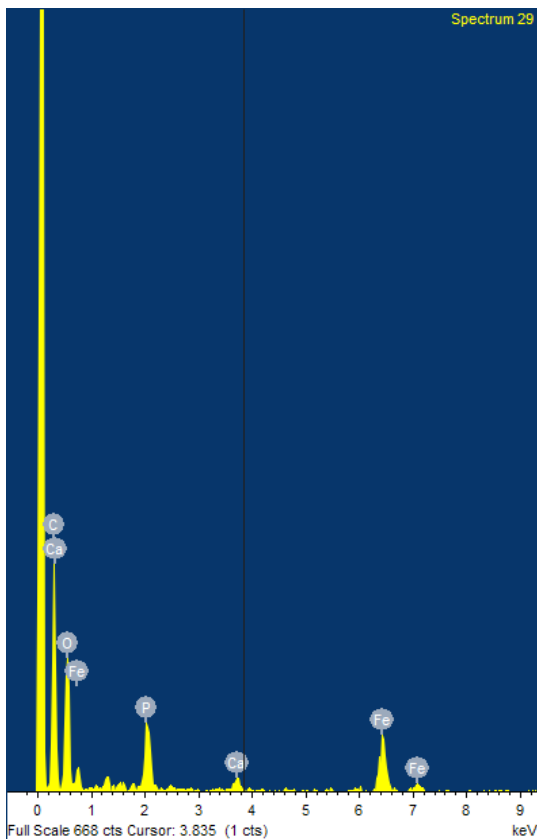
27600/68 PA224 (Lö7): mätpunkt innehåller sannolikt inget svavel eller järn. Det kan misstänkas att mätpunkten inte var representativt för hela provet.

## 27600/69 AD1772 (Lö2)

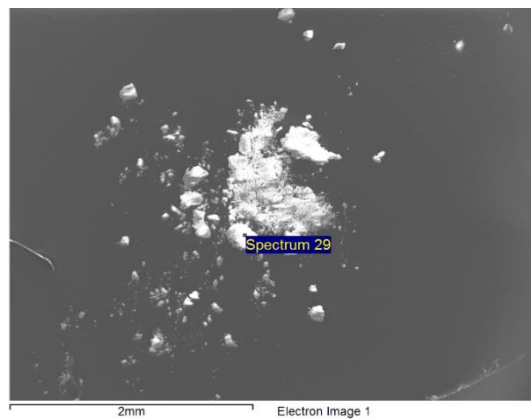
Prover granskades i tre områden med en punktmätning i vardera område. P, Ca, Fe detekteras i olika proportioner.



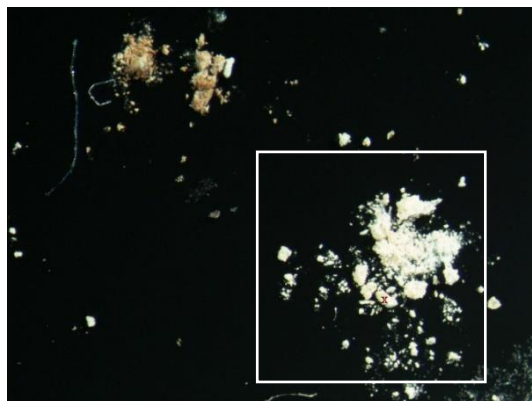
Figur 1. 27600/69 AD1772 (Lö2)



Figur 2. Lö2: EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat

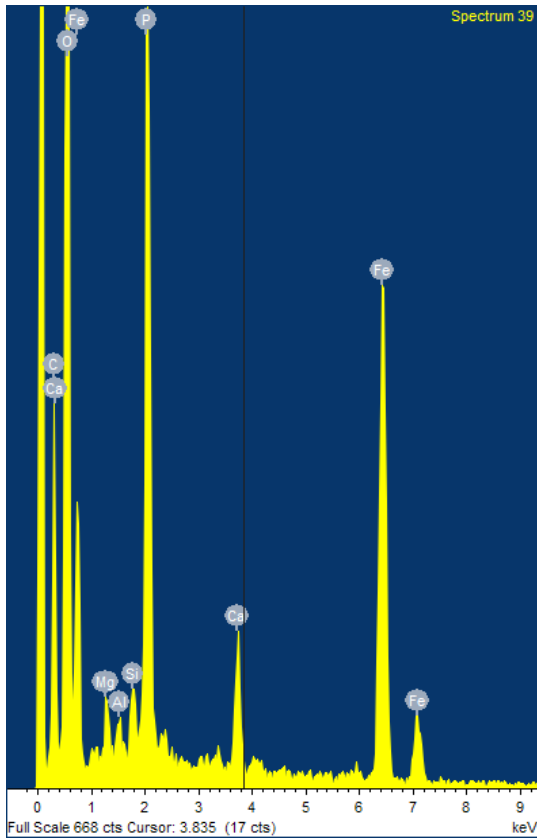


Figur 3. Lö2: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring

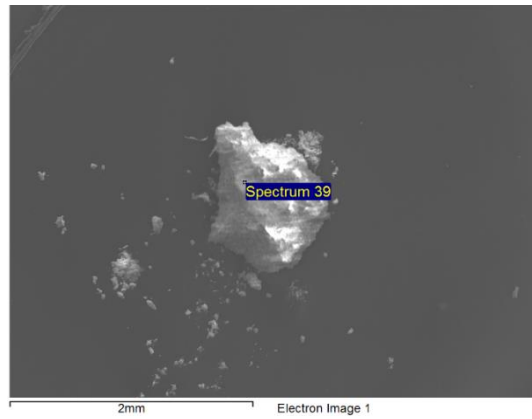


Figur 4. Lö2: Mikroskopbild, ca 20x förstoring





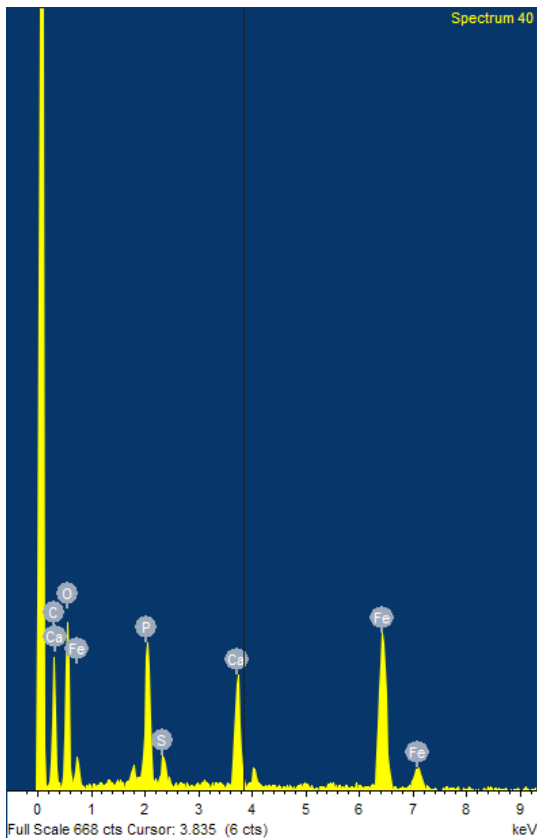
Figur 5. Lö2: EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



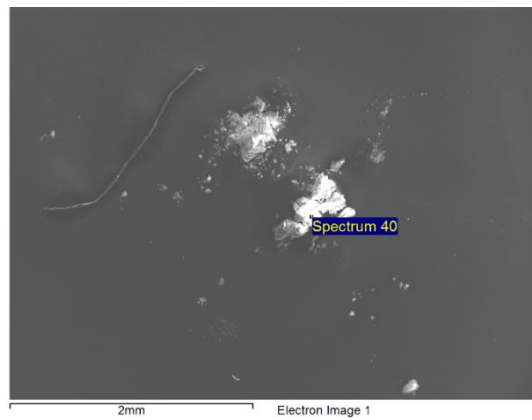
Figur 6. Lö2: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



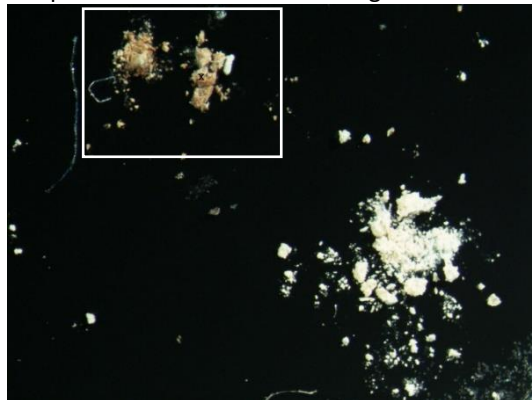
Figur 7. Lö2: Mikroskopbild, ca 20x förstoring



Figur 9. Lö2: EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat



Figur 9. Lö2: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



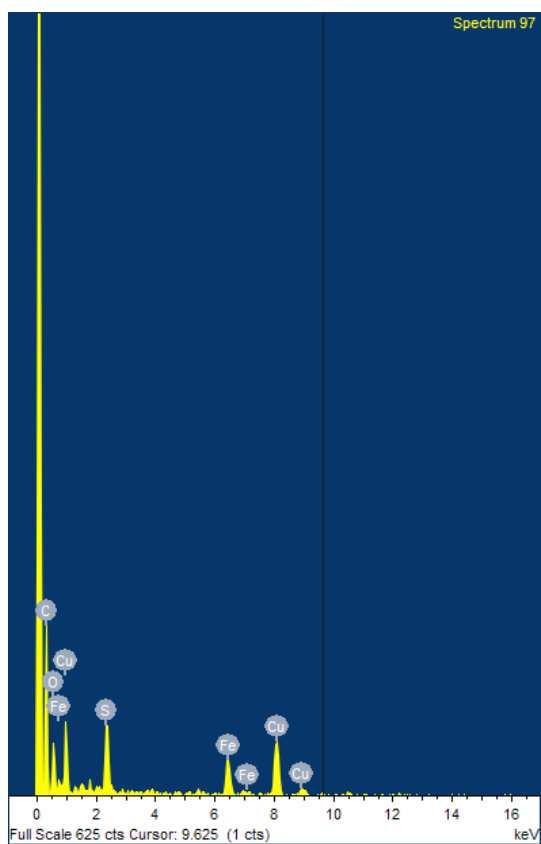
Figur 10. Lö2: Mikroskopbild, ca 10x förstoring

### 1103 (Lö3)

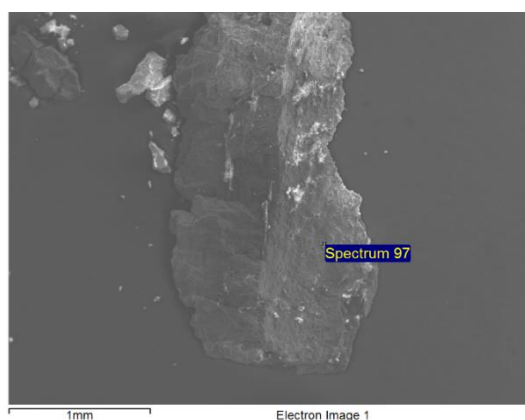
Provet granskades i ett område med en punktmätning. S, Fe och koppar (Cu).



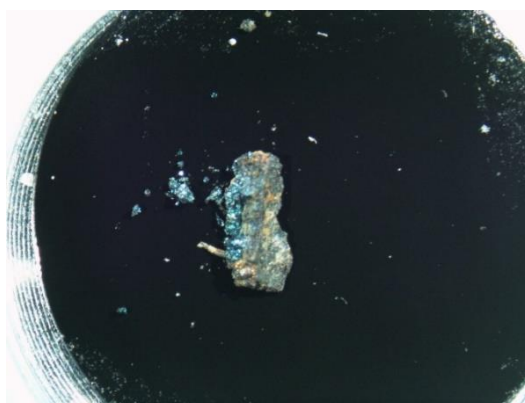
Figur 11. 1103 (Lö3), pil markerar område för provtagning



Figur 12. Lö3: EDX-diagram: S, Fe, Cu detekterat



Figur 13. Lö3: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



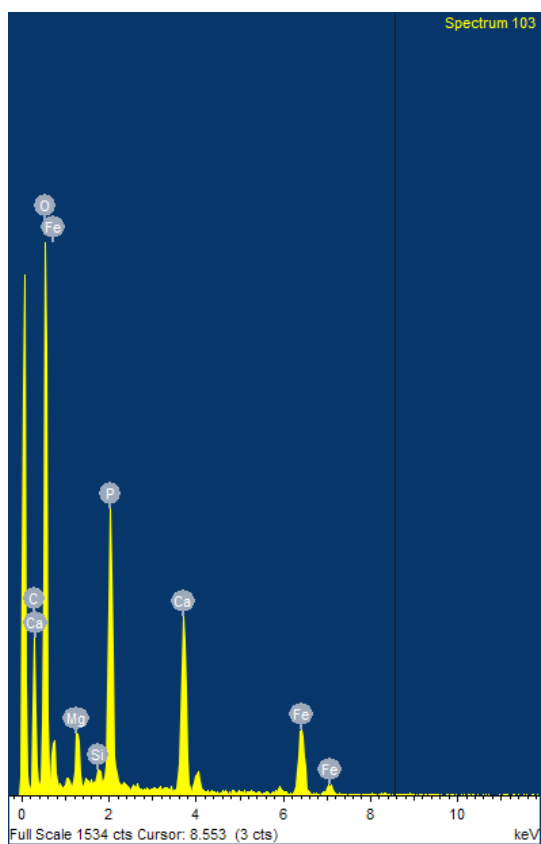
Figur 14. Lö3: Mikroskopbild, ca 10x förstoring

## CB2 380 (Lö4)

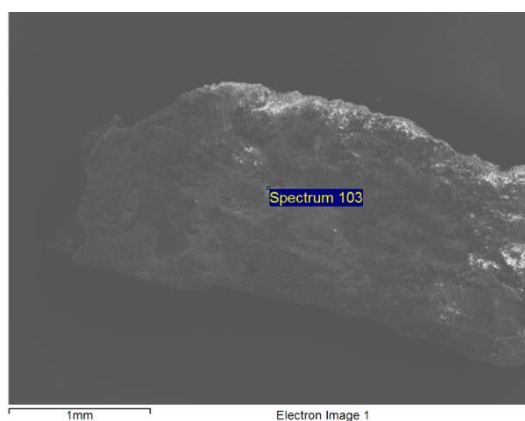
Provet granskades i ett område med en punktmätning. P, Ca, Fe detekterades.



Figur 15. CB2 380 (Lö4)



Figur 16. Lö4: EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



Figur 17. Lö4: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



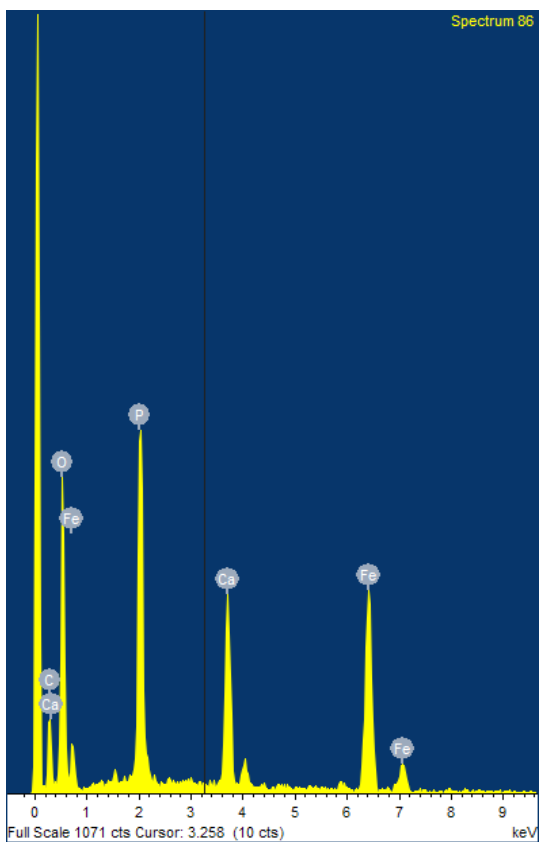
Figur 18. Lö4: Mikroskopbild, ca 20x förstoring

## DC 2487 (Lö6)

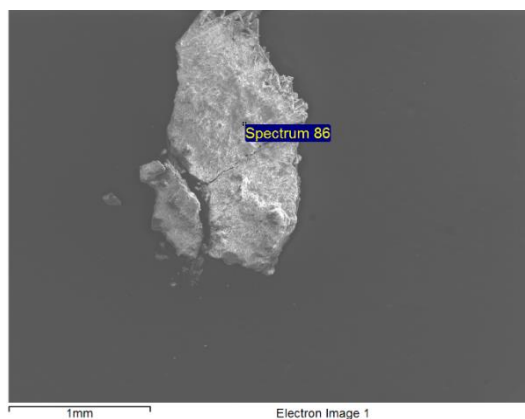
Provet granskades i ett område med en punktmätning. P, Ca, Fe detekterades.



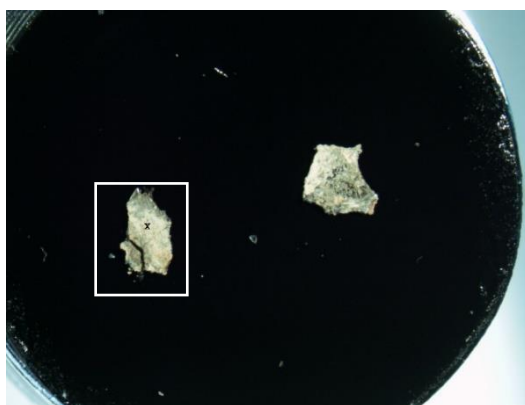
Figur 19. DC 2487 (Lö6)



Figur 20. Lö6: EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



Figur 21. Lö6: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



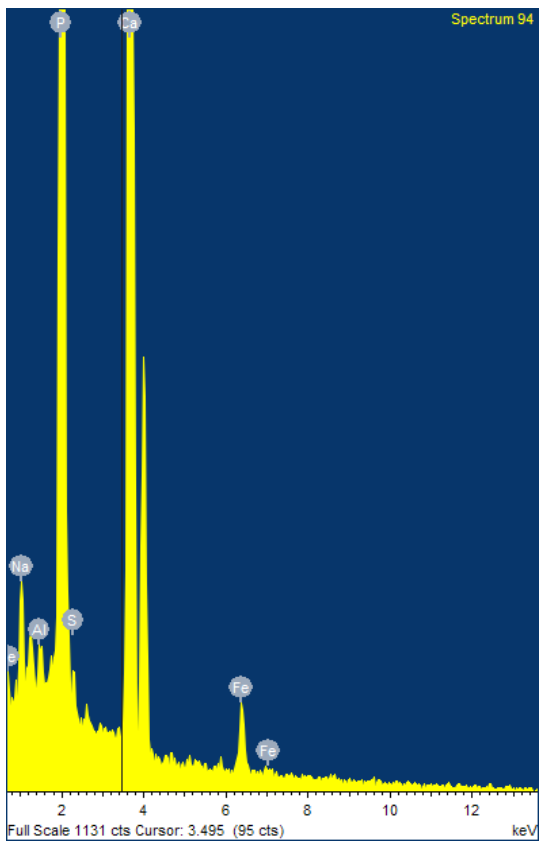
Figur 22. Lö6: Mikroskopbild, ca 10x förstoring

## 27600/68 PA224 (Lö7)

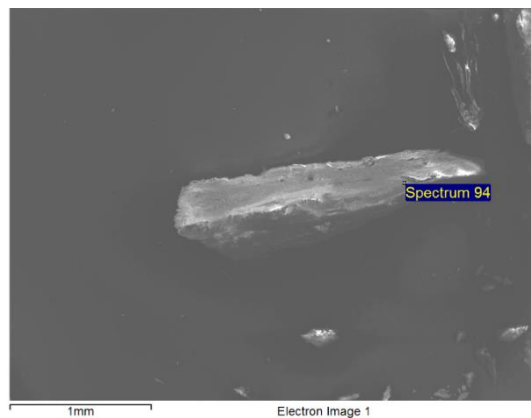
Provet granskades i ett område med en punktmätning. P, Ca och i viss mån S, Fe.



Figur 23. 27600/68 PA224 (Lö7)



Figur 24. Lö7: EDX-diagram: P, Ca detekterat, i viss mån S, Fe



Figur 25. Lö7: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



Figur 26. Lö7: Mikroskopbild, ca 20x förstoring

## Bilaga IV Rapport Sigtuna museum

14 maj 2015

### Rapport analysresultat från arkeologiska benföremål, Sigtuna museum

Resultat av SEM-EDX-analyser utförda som en del av uppsats för kandidatexamen inom Konservatorsprogrammet, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet.

Utfört av Emma K Emanuelsson

#### **Metod:** Analys med SEM-EDX

SEM-EDX kombinerar två metoder: svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) och energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX). SEM ger en förstora bild och EDX en grundämnesanalys.

Prover tog i form av från lösa flagor som togs i samband med inventering 25 mars 2015. Inför analys lades proven på provhållare för SEM-EDX under arbetsmikroskop, x10 förstoring.

Eftersom mätpunkterna är få bör resultatet tolkas med försiktighet

Fosfor (P) och kalcium (Ca) kommer troligen från den oorganiska komponenten hydroxyapatit (HAP,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) i benmaterialet. Svavel (S) och järn (Fe) ingår inte i benmaterialets struktur.

I nedanstående tolkning och redovisning noteras inte de allmänt förekommande grundämnena syre (O) eller kol (C). I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnena i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta.

**Prover:** Kv. Ödåker 104u (föremål), Kv. Profil 40128 (kilformat städ)

#### **Summering av resultat:**

Kv. Ödåker 104u (Si2): inga andra grundämnena än fosfor och kalcium från benmaterial detekterade.

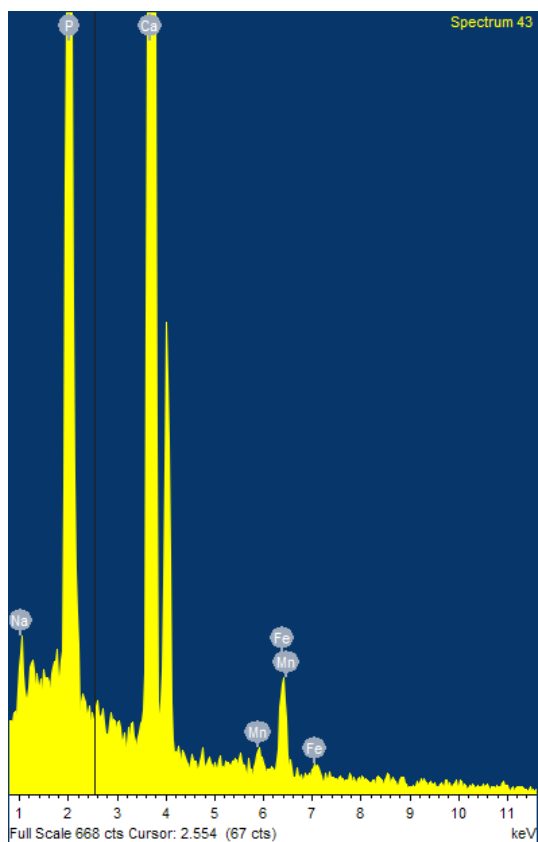
Kv. Profil 40128 (Si3): inga andra grundämnena än fosfor och kalcium från benmaterial detekterade. I flera mätningar kunde inga andra grundämnena, inte heller fosfor eller kalcium, detekteras. Detta kan vara ett resultat av en demineralisering av materialet.

### Kv. Ödåker 104u (Si2)

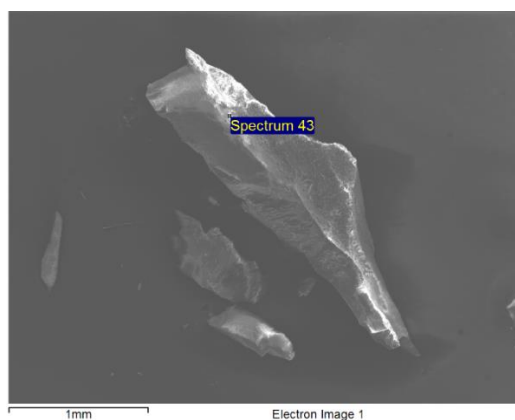
Provet granskades i ett område med en punktmätning. Enbart P och Ca detekterat, små halter av järn (Fe) och mangan (Mn) är trol. från föroreningar på ytan.



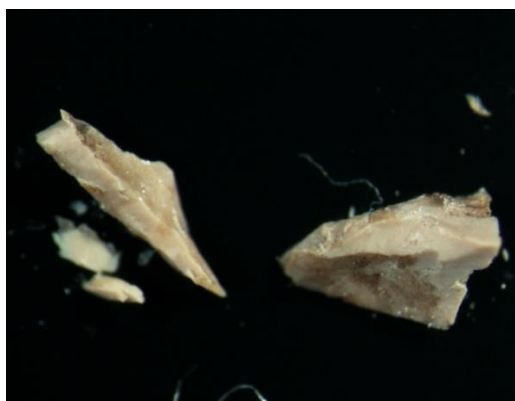
Figur 1. Si2: Kv. Ödåker 104u



Figur 2. Si2: EDX-diagram: P, Ca detekterat



Figur 3. Si2: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



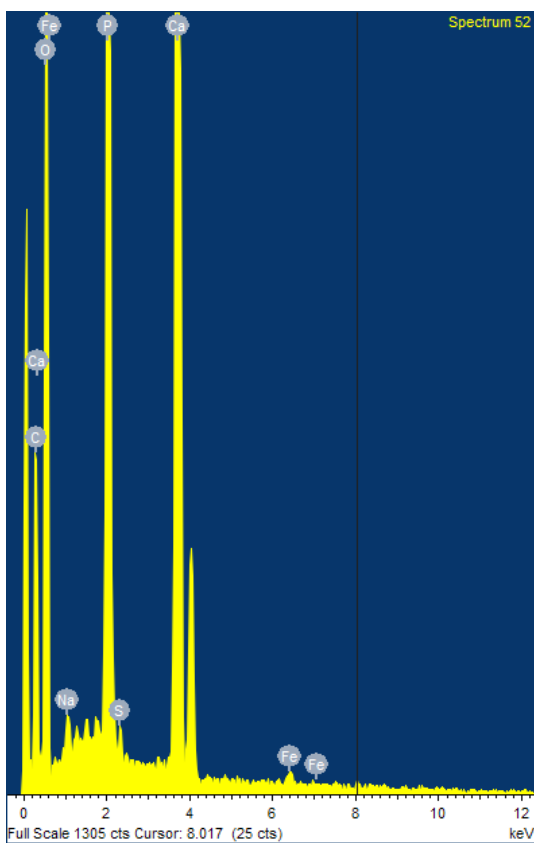
Figur 4. Si2: Mikroskopbild, ca 20x förstoring

### Kv. Profil 40128 (Si3)

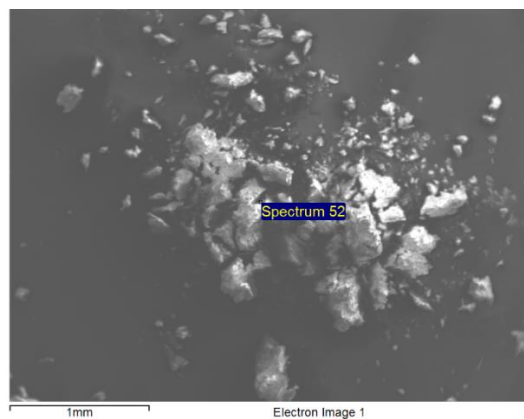
Provet granskade i tre områden med sammanlagt fem mätpunkter. Enbart P och Ca detekterat. I flera mätningar kunde inget annat än kol (C) detekteras.



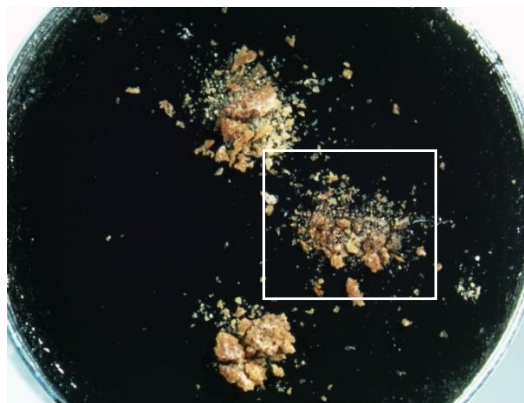
Figur 5. Si3: Kv. Profil 40128.



Figur 6. Si3: EDX-diagram: P, Ca detekterat, spår av S, Fe



Figur 7. Si3: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



Figur 8. Si3: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde, ca 10x förstoring



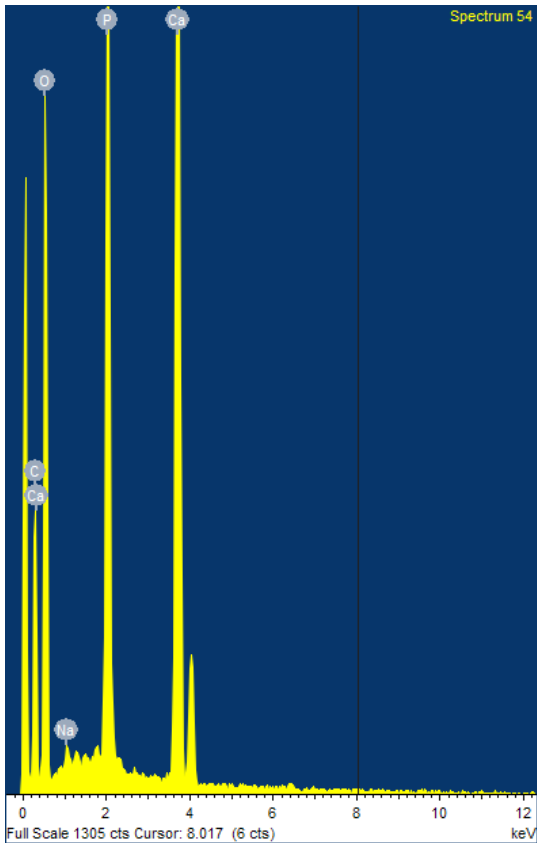


Bild 9. Si3: EDX-diagram: P, Ca detekterat

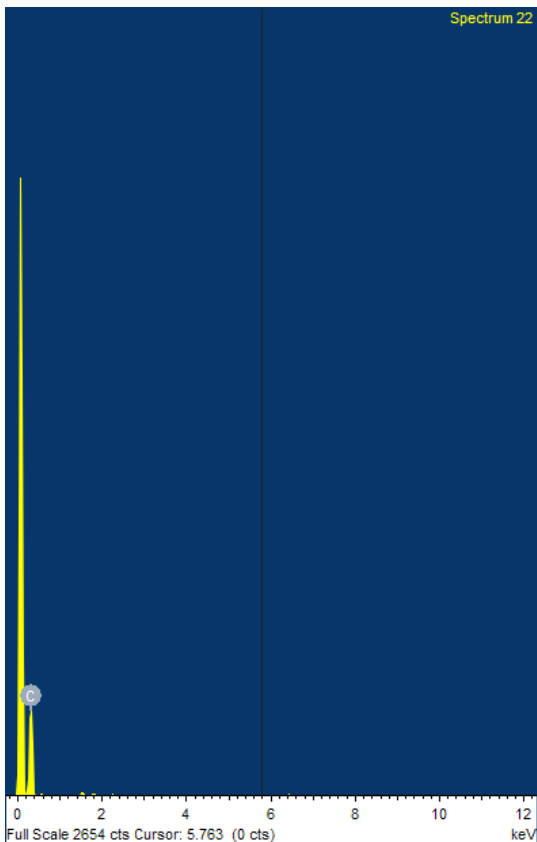


Bild 12. Si3: EDX-diagram: enbart C detekterat

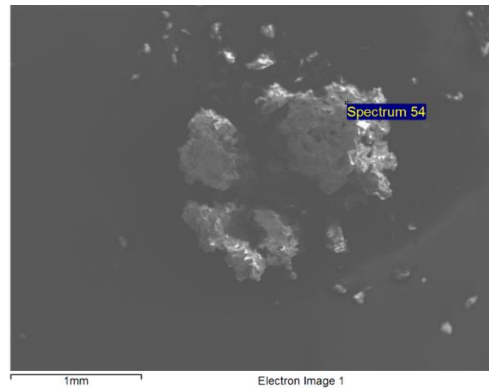


Bild 10. Si3: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring

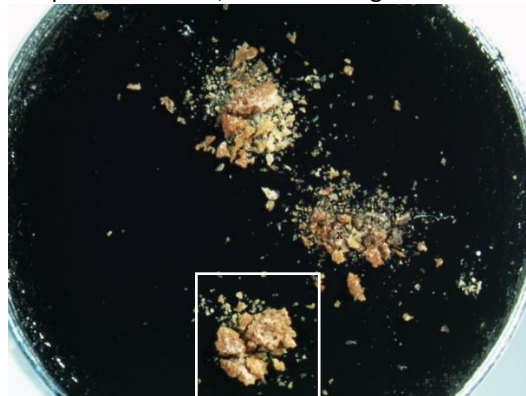


Bild 11. Si3: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 10x förstoring

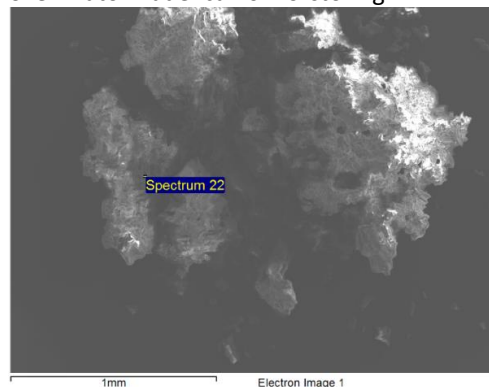


Bild 13. Si3: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 55x förstoring

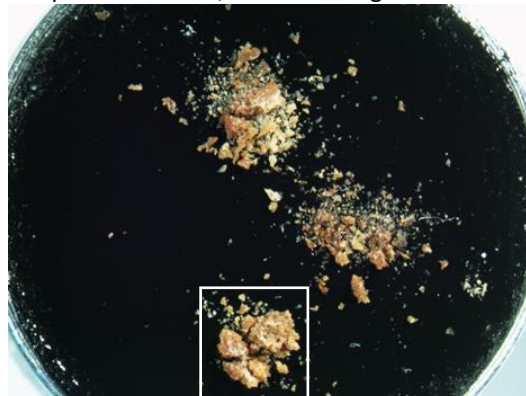
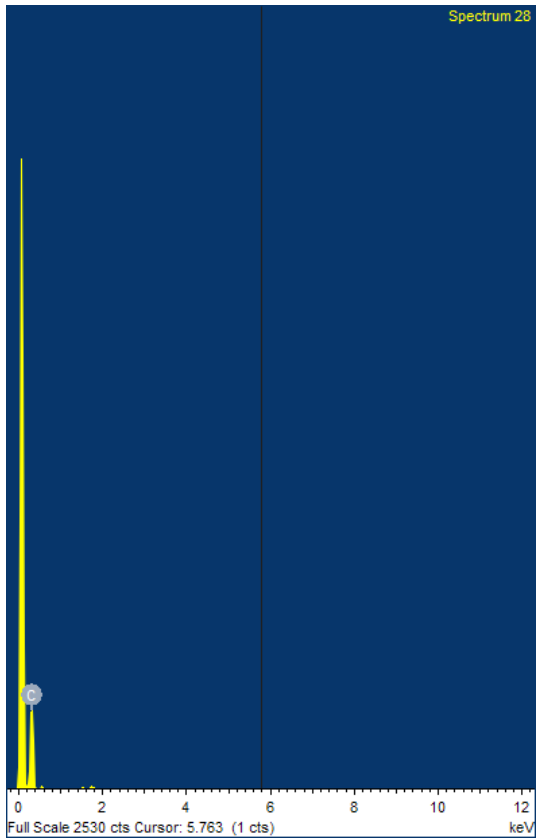
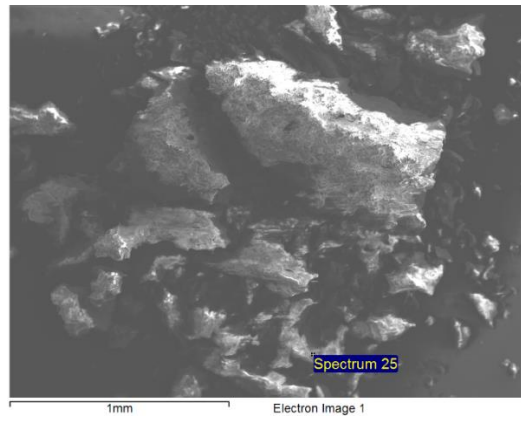


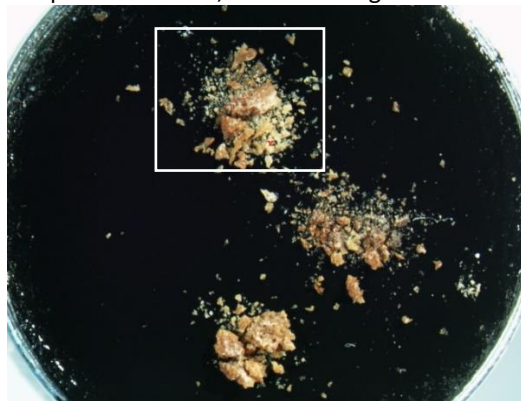
Bild 14. Si3: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 10x förstoring



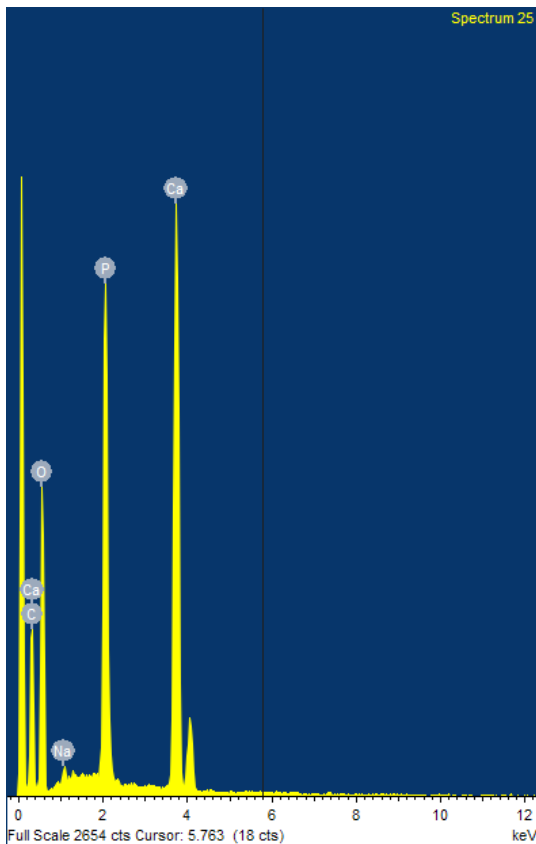
Figur 15. Si3: EDX-diagram: enbart C detekterat



Figur 16. Si3: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 55x förstoring



Figur 17. Si3: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde, ca 10x förstoring



Figur 18. Si3: EDX-diagram: P, Ca detekterat

## Bilaga V Rapport Stockholms stadsmuseum

14 maj 2015

### Rapport analysresultat från arkeologiska benföremål Stockholms stadsmuseum

Resultat av SEM-EDX-analyser utförda som en del av uppsats för kandidatexamen inom Konservatorsprogrammet, institutionen för Kulturvård, Göteborgs universitet.

Utfört av Emma K Emanuelsson

#### **Metod:** Analys med SEM-EDX

SEM-EDX kombinerar två metoder: svepelektronmikroskopi (scanning electron microscopy, SEM) och energi-dispersiv röntgenspektroskopi (energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX). SEM ger en förstora bild och EDX en grundämnesanalys.

Prover tog i form av från lösa flagor som togs i samband med inventering 25 mars 2015. Inför analys lades proven på provhållare för SEM-EDX under arbetsmikroskop, x10 förstoring.

Eftersom mätpunkterna är få bör resultatet tolkas med försiktighet

Fosfor (P) och kalcium (Ca) kommer troligen från den oorganiska komponenten hydroxyapatit (HAP,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) i benmaterialet. Svavel (S) och järn (Fe) ingår inte i benmaterialets struktur.

I nedanstående tolkning och redovisning noteras inte de allmänt förekommande grundämnena syre (O) eller kol (C). I vissa mätningar förekommer ytterligare grundämnena i låga koncentrationer vilket bedöms inte vara relevanta.

**Prover:** Up 0717-78 Helgeansholmen 01502 (knivskaft), Up 0717-78 Helgeansholmen 04891 (spill)

#### **Summering av resultat:**

Up 0717-78 Helgeansholmen 01502 (SM1): utöver fosfor och kalcium från benet (HAP) kunde även järn och svavel detekteras vilket kan vara relaterat till pyrit eller oxiderad pyrit.

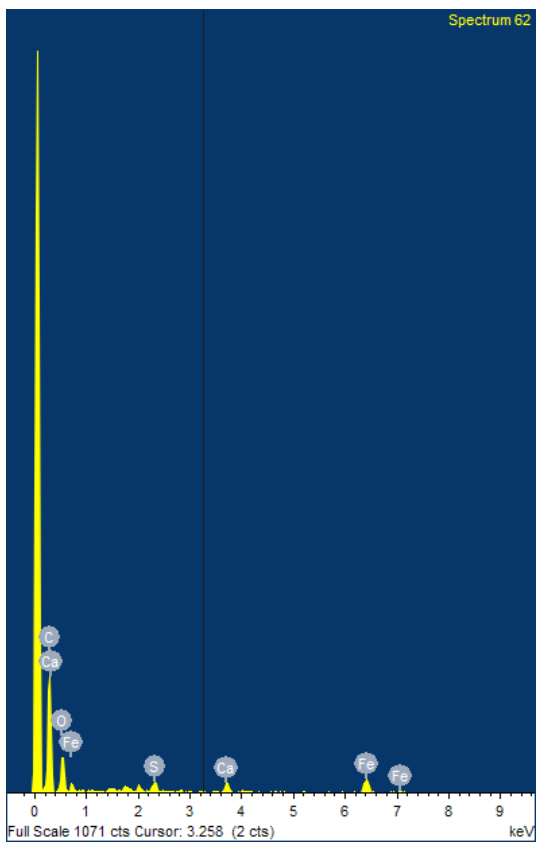
Up 0717-78 Helgeansholmen 04891 (SM2): inga andra grundämnena än fosfor och kalcium från benmaterial detekterade.

## Up 0717-78 Helgeansholmen 01502 (SM1)

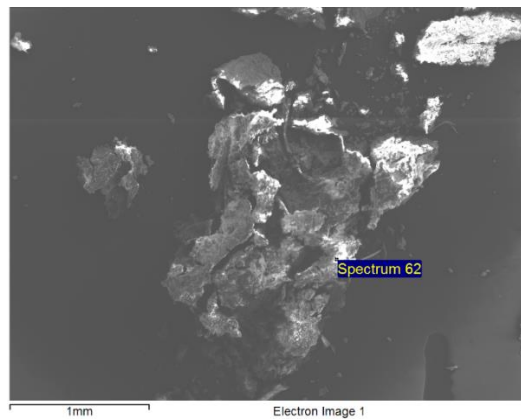
Prover granskades i tre områden med en punktmätning i vardera område. P, Ca, S, Fe detekterades i olika proportioner.



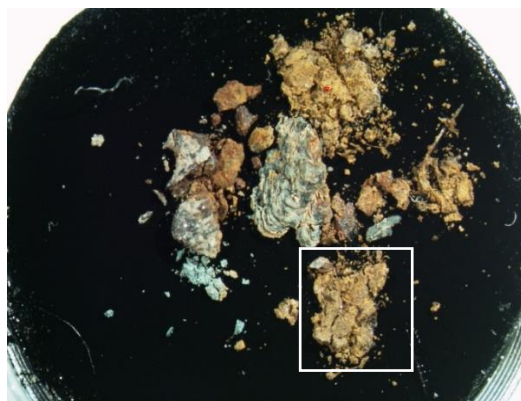
Figur 1. Up 0717-78 Helgeansholmen 01502 (SM1)



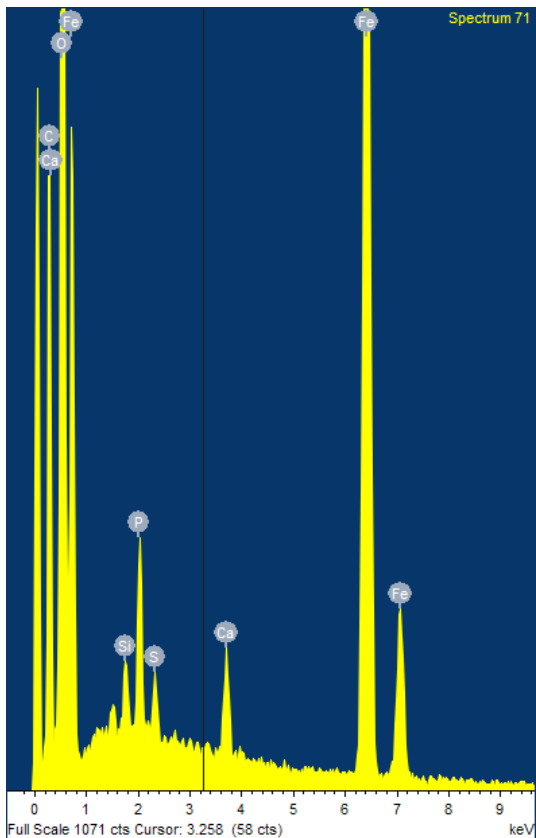
Figur 2. SM1: EDX-diagram: Ca, S, Fe detekterat



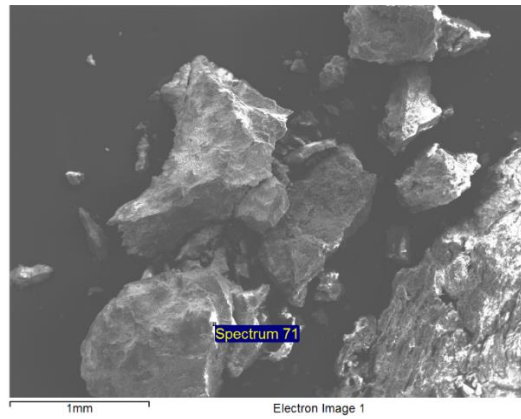
Figur 3. SM1: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



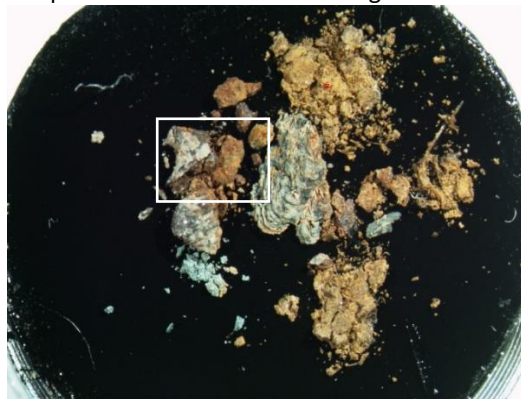
Figur 4. SM1: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde, ca 10x förstoring



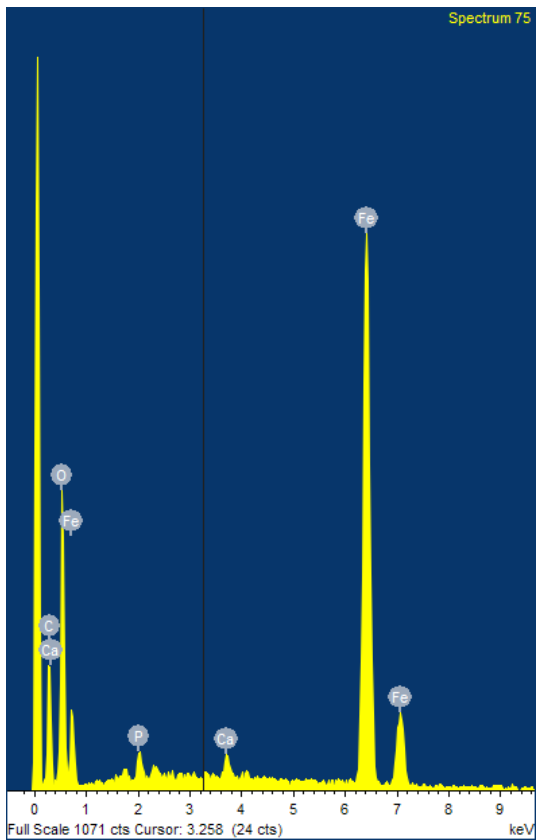
Figur 5. SM1: EDX-diagram: P, Ca, S, Fe detekterat



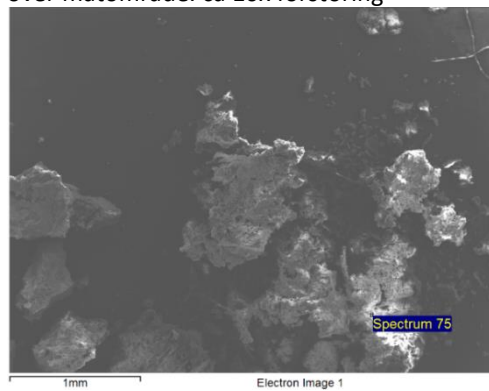
Figur 6. SM1: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX. 30x förstoring



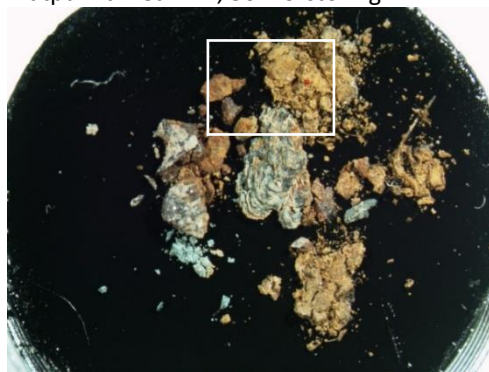
Figur 7. SM1: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde. ca 10x förstoring



Figur 8. SM1: EDX-diagram: P, Ca, Fe detekterat



Figur 9. SM1: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



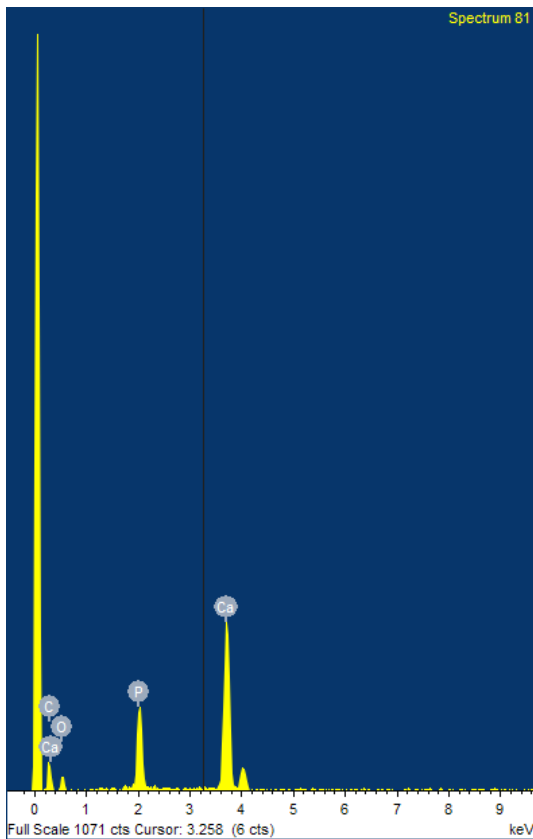
Figur 10. SM1: Mikroskopbild, ungefärlig markering över mätområde, ca 10x förstoring

### Up 0717-78 Helgeansholmen 04891 (SM2)

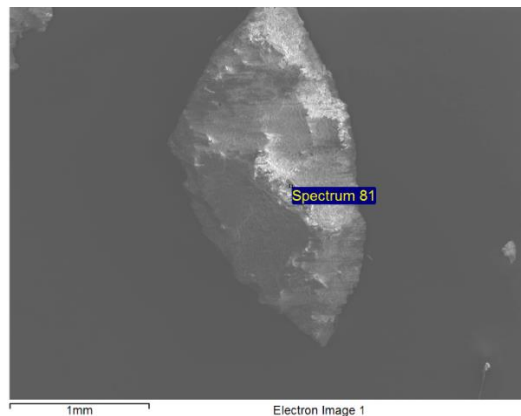
Provet granskades i ett område med en punktmätning. P och Ca detekterades vilket kan tolkas som benmaterial.



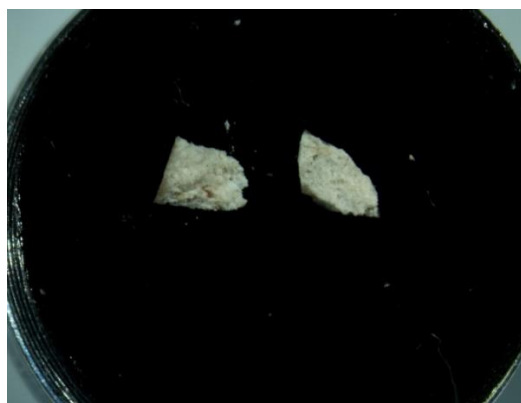
Figur 11. Up 0717-78 Helgeansholmen 04891 (SM2)



Figur 12. SM2: EDX-diagram: P, Ca detekterat



Figur 13. SM2: SEM-bild över området, markering av mätpunkt med EDX, 30x förstoring



Figur 14. SM2: Mikroskopbild, ca 10x förstoring