

Påverkan på arkeologiskt material i jord



Redovisning av
två forskningsprojekt

Anders G. Nord
Agneta Lagerlöf



Påverkan på arkeologiskt material i jord

– redovisning av två forskningsprojekt

Anders G. Nord
Agneta Lagerlöf



Riksantikvarieämbetet

Riksantikvarieämbetets förlag
Box 5405, 114 84 Stockholm
Tel: 08 - 5191 8000, Fax: 08 - 5191 8083
E-post: bocker@raa.se
Hemsida: www.raa.se

Omslagsfoto: Riksantikvarieämbetet
Formgivning: Klas Danielsson

© 2002 Riksantikvarieämbetet

1:1

ISBN 91-7209-282-3

Tryck: Sjuhäradsbygdens tryckeri, Borås 2002.

Förord

Det är allmänt bekant att Sverige och många andra länder drabbats av en allvarlig miljöförstöring under de senaste 50-100 åren. Luftföroreningar och andra miljöförändringar påverkar emellertid inte bara människors hälsa, utan även våra kulturobjekt. Under 1990-talet erhöll Riksantikvarieämbetet särskilda anslag för att studera dessa problem. Det var framför allt skadeverkningar på byggnader, runstenar, hållristningar och statyer som undersöktes. Men även föremål under jord påverkas av markförsurning och annan miljöförstöring, inte minst outgrävt arkeologiskt material. Vid Riksantikvarieämbetet genomfördes därför studier av vilka faktorer som i störst utsträckning påverkar nedbrytningen av arkeologiskt material. En viktig delstudie var att identifiera utsatta regioner och fornlämnings-typer. Undersökningarna utfördes genom två tvärvetenskapliga forskningsprojekt vid den Antikvarisk-tekniska avdelningen. Arbetet inleddes med projektet "Fynd och Miljö", som behandlade nedbrytning av arkeologiska brons- och järnföremål. I det andra projektet, som var internationellt och finansierades via EU:s 4:e ram-program för forskning och utveckling (1998-2001), undersöktes nedbrytning av arkeologiskt benmaterial i jord. Resultaten sammanfattas i denna skrift.

Stockholm i november 2002

Marianne Lundberg

Avdelningschef

Antikvarisk-Tekniska avdelningen

Innehåll

Sammanfattning	5
Summary	7
1. Inledning	9
2. Syfte och målsättning	14
3. Projektet "Fynd och Miljö"	15
3.1 Inledning	15
3.2 Nyutgrävda metallfynd av brons och järn	15
3.3 Magasinsundersökningen	17
3.4 Markförsurningens inverkan	17
3.5 Resultat	21
4 Nedbrytning av arkeologiskt benmaterial i jord (EU-projektet)	24
5. Synpunkter på bevarandefrågor i medeltida kulturlager	26
6. Sammanfattning av resultaten	28
Litteratur	30

Sammanfattning

ARKEOLOGER I SVERIGE har under de senaste decennierna uppmärksammat, att de föremål som nu grävs fram generellt sett är sämre bevarade än tidigare fynd från samma region. Det senaste seklets luftföroreningar, konstgödsling och övriga antropogena aktiviteter misstänks ha accelererat nedbrytningen, men det finns naturligtvis även andra bidragande faktorer. Riksantikvarieämbetet har genomfört två projekt för att studera dessa problem. Inom det tvärvetenskapliga projektet "Fynd och Miljö" undersöktes ca. 4500 brons- och järnföremål i museimagasin samt 300 nyutgrävda metallfynd. Fyndens nedbrytningsgrad, ålder, utgrävningsår, arkeologiska kontext, fyndortens topografi, geografi och markkänslighet m.m. dokumenterades. För de nyutgrävda fynden bestämdes dessutom data för kemisk sammansättning hos metall och korrosionsprodukter, samt analysdata för relevanta jordprov. Alla data har utvärderats med statistisk multivariatanalys. Resultaten bekräftar en accelererande nedbrytning på senare tid. Markförsurning, sot och salter i jorden, fukt, sandjord, vissa gravtyper och gravskick (röse, stensättning, brandgrav) är några av de faktorer, som påverkar nedbrytningen. Situationen är särskilt allvarlig på västkusten.

Enheten för konservering av museiföremål (ATm) har även deltagit i ett nyligen avslutat projekt inom EU:s 4:e ramprogram för forskning och utveckling: "The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property" (EU-ENV4-CT98-0712). Det har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan institutioner i Nederländerna, Sverige, England och Italien. Totalt insamlades ca. 300 benprover och 600 tillhörande jordprover, samt data för karaktärisering av arkeologisk kontext och miljö. Ben har en mycket komplex sammansättning. I färskt opåverkat benmaterial utgöres ca. 70% av kalciumfosfater, främst kalciumhydroxyapatit. Dessutom ingår ca. 22% proteiner, i huvudsak kollagen, samt vatten och porer. Därför var det nödvändigt att definiera *tre olika faktorer för karaktärisering av bevarandegraden*: (1) det visuella utseendet betingat av kvarvarande oorganiskt material, (2) kvarvarande mängd kollagen, samt (3) den histologiska mikrostrukturen.

Vid den statistiska utvärderingen (multivariatanalys) erhöles följande resultat: Markförsurning påverkar det oorganiska materialet. Sålunda var benmaterialet från Sverige sämst bevarat, medan materialet från Italien hade klarat sig bäst, eftersom kalkberggrunden där givit en skyddande effekt. De hydrologiska förhållandena betyder mycket; stor vattengenomströmning påskyndar nedbrytningen.

Ben tycks bevaras något bättre i sand än i lerjord, grus eller stenpackningar. Kollagen och histologisk mikrostruktur förstörs huvudsakligen av mikroorganismer (bakterier och svampar). Dessutom finns många ej kända faktorer som kan påverka nedbrytningen, exempelvis begravnings seder, arvsfaktorer, och sjukdomar. Djurben har generellt bevarats bättre än människoben i samma miljö. Tidsfaktorn är betydelsefull, även om nedbrytningen inte står i direkt relation till den tid som benen legat i jorden.

De fynd som studerats inom Riksantikvarieämbetets projekt kommer till allra största delen från gravplatser och boplatser på landsbygden. Sammansatta kulturlager, till exempel i medeltida stadskärnor, utgör en helt annan miljö för det arkeologiska materialet med olika jordarter, komplex stratigrafi och varierande hydrologiska förhållanden, samt störningar orsakade av ständigt återkommande anläggningsarbeten. De speciella problem som detta medför för kulturlagren har ännu inte undersökts i något svenskt projekt.

Resultaten från studierna skall användas för att bättre kunna bedöma framtida nedbrytning av arkeologiska fynd i jord med hänsyn till fornlämningsmiljö, jordkemi, markförsurning, konstgödsling, övrig antropogen påverkan, geografisk belägenhet och andra relevanta parametrar. Denna kunskap skall framför allt vara till hjälp för länsstyrelserna vid beslut om skydd eller borttagande av fornlämningar. Den torde även kunna underlätta upprättande av miljökonsekvensbeskrivningar (MKB), och förväntade konserveringsbehov och konserveringskostnader kan uppskattas bättre. Resultaten kan användas vid uppföljning av tillståndet för landets fornlämningar inom ramen för miljömål nr 7, "Bara naturlig försurning".

Summary

SWEDISH ARCHAEOLOGISTS have observed an accelerated decay of artefacts. Acidification of lakes and ground, as well as a serious decay of outdoor monuments, has clearly been attributed to anthropogenic pollutants. Accordingly, pollutants have now been suspected to be a major cause of the increasing degradation of buried remains. Archaeological metal artefacts excavated today are generally more corroded than those found 50-100 years ago. The principal aim of the present national project was to determine the main factors, anthropogenic and others, affecting the deterioration of un-excavated archaeological bronze and iron artefacts in Sweden. The project comprises two studies: (1) investigation of museum collection objects, and (2) studies of recently excavated bronze and iron objects.

A study of 4500 metal artefacts in museum collections has been undertaken. From recent excavations another 300 bronze or iron objects were investigated. As much information as possible on the background of these objects was recovered: state of preservation, archaeological age, year of excavation, archaeological context, geography, topography, land use, geology and soil sensitivity to acidification. For the recently excavated artefacts, it goes without saying that more precise data could be obtained, and also additional data for the composition of metal, corrosion products, and surrounding soil. The possible influence from polluting sources as well as the local environment in general was also taken into account. The data sets were evaluated by means of statistical multivariate analysis. A continued acceleration of the deterioration of un-excavated metal objects was verified. Soil acidification, sandy soil, the presence of soot and soluble salts, and moisture-retaining conditions seem to be the main factors accelerating the corrosion of metal artefacts. In particular, finds from the Swedish west coast, where the soil is most vulnerable to acidification, were more deteriorated than those from the east coast. Archaeological properties, which are clearly correlated to the deterioration, are cremation graves and "open" constructions.

The ATm department has also been involved in a recently completed EU project with the aim to study the degradation of archaeological bone material in soil (project "The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property"; ENV4-CT98-0712). About 300 bone samples and 600 samples of soil from Europe were analysed, and data for archaeology, topography, geography and environment were collected. The bone preservation status was defined from an osteological, histological and purely organo-chemical point

of view. The statistical analysis showed that the problem is much more complex than for the metals. Acidic soil is indeed disastrous to the inorganic component of the bone. Accordingly, the bone material from Sweden was most degraded, while the Italian material was best preserved due to the calcareous ground in Italy. Hydrological conditions are also important; extensive water flow is detrimental to bone. Furthermore, bone seems to be somewhat better preserved in sand than in clay or gravel. Micro-organisms (bacteria and fungi) cause deterioration of the organic material and the histological microstructure. It is also evident that many factors, unknown to us, influence the degradation, like burial customs, heritage factors, or diseases. The results also showed that the longer burial time, the worse condition of the bone material.

Most of the finds studied were found in rural districts. It is evident that cultural layers such as those in mediaeval town centers present a quite different and much more complex environment. Soil composition, stratigraphic layers and hydrological conditions may change within a short distance. Further, the conditions have been disturbed by frequent installation and building works. So far, these special problems have not been studied in any Swedish project.

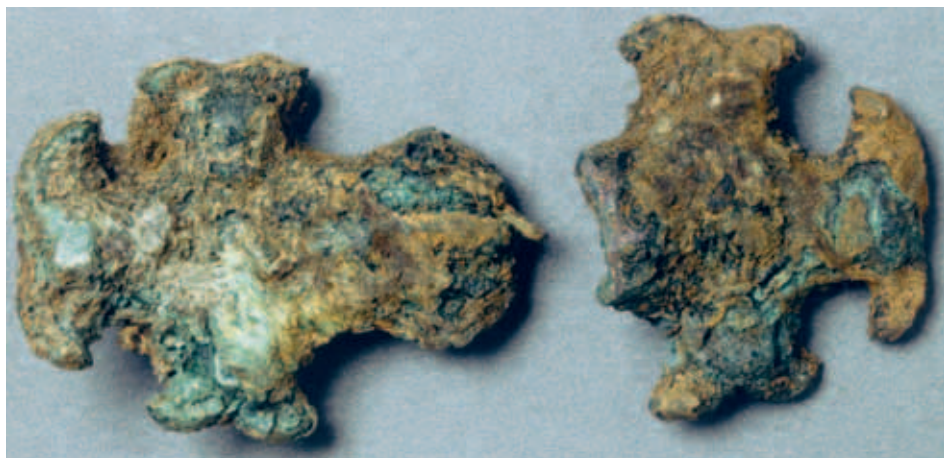
The results are expected to be of importance for a better estimation of the potential damage to un-excavated artefacts by environmental threats and other factors. The knowledge should be of help to the county administration boards in questions regarding excavation or preservation of archaeological sites, and in evaluation of the consequences of large-scale changes in the local environment. It may also allow assessment of the state of preservation and the need for conservation of the objects if, and when, they are excavated.

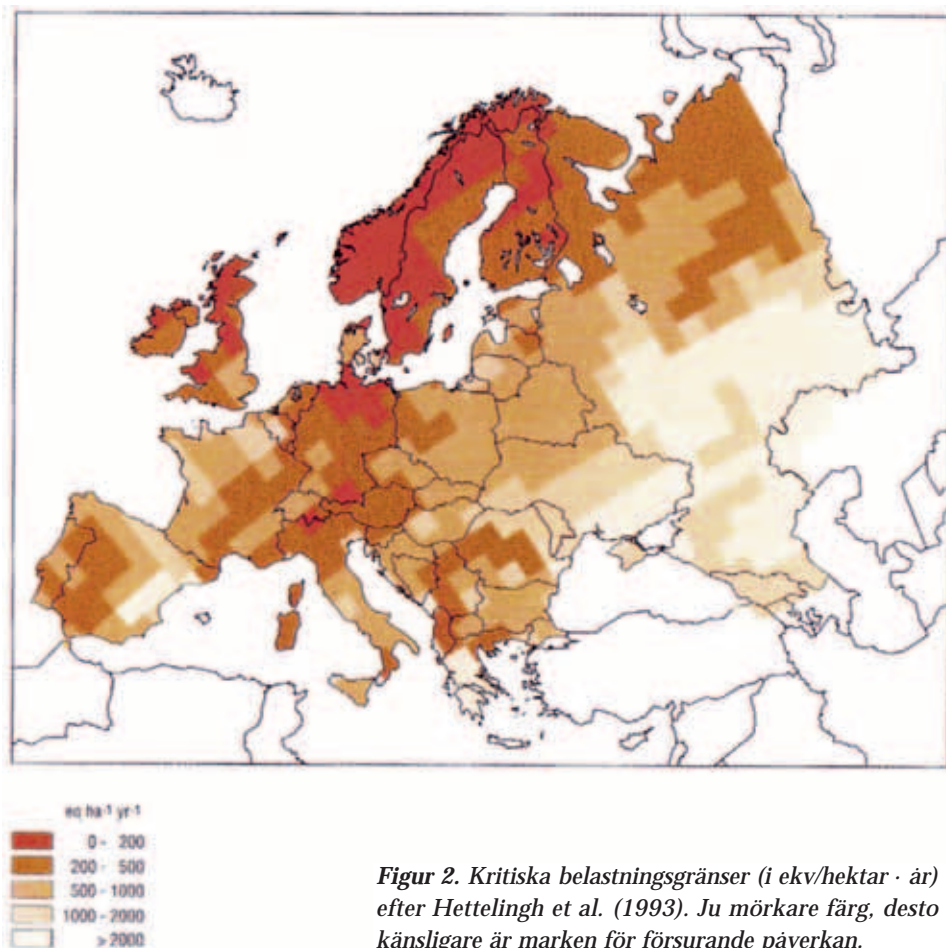
1. Inledning

LUFTFÖRORENINGARNAS INVERKAN på kulturarvet har varit mycket uppmärksammat internationellt de senaste decennierna. Det gäller framför allt det byggda kulturarvet och kulturobjekt ovan mark, t.ex. domkyrkan i Köln, Akropolistemplet i Aten, S:t Pauls Cathedral, Stockholms slott m.m. Även nedbrytningen av hållristningar har undersökts, t.ex. genom EU-projektet Rock Care som ett samarbetsprojekt mellan Sverige, Italien, Portugal och Finland. Misstanken att utgrävda arkeologiska föremål tagit allvarlig skada på grund av markförsurningen har bekräftats av erfarna fältarkeologer, som tyckt sig märka att fyndens bevarandegrad blivit allt sämre när nya utgrävningar genomförts inom en och samma region (se Figur 1). När det gäller dessa fynd är problemen mycket komplexa, och de har tyvärr



Figur 1. Bronsföremål utgrävda i Birka. Till vänster ett spänne utgrävt på 1870-talet, under ett likarmat spänne som grävdes ut år 1993. Det senare består i huvudsak av korrosionsprodukter. Foto: Inga Ullén, SHM och Monika Fjæstad, RAÄ.





Figur 2. Kritiska belastningsgränser (i ekv/hektar · år) efter Hettelingh et al. (1993). Ju mörkare färg, desto känsligare är marken för försurande påverkan.

inte blivit lika uppmärksammade. Riksantikvarieämbetet (RAÄ) erhöll emellertid under perioden 1988–1996 särskilda medel för att undersöka luftföroreningarnas inverkan på kulturhistoriska byggnader, statyer, runstenar, hällristningar och arkeologiska föremål i jord (Lindborg, 1990; Nord, 1990; Nord & Tronner, 1991).

I värsta fall kan miljöförstöring i kombination med andra aktiviteter såsom ändrad markanvändning eller stora vägbyggen medföra, att ett ovärderligt kulturarv kommer att försvinna. Den tidigare rådande uppfattningen att arkeologiskt material bevaras bäst om det får ligga "intakt" i jorden måste således ifrågasättas. Miljöhotet har på kort tid aktualiserat bevarandefrågorna. Problemen har uppmärksamrats i många andra länder i Europa, men situationen är särskilt allvarlig i Skandinavien, vilket bland annat beror på ogynnsamma geologiska förhållanden.

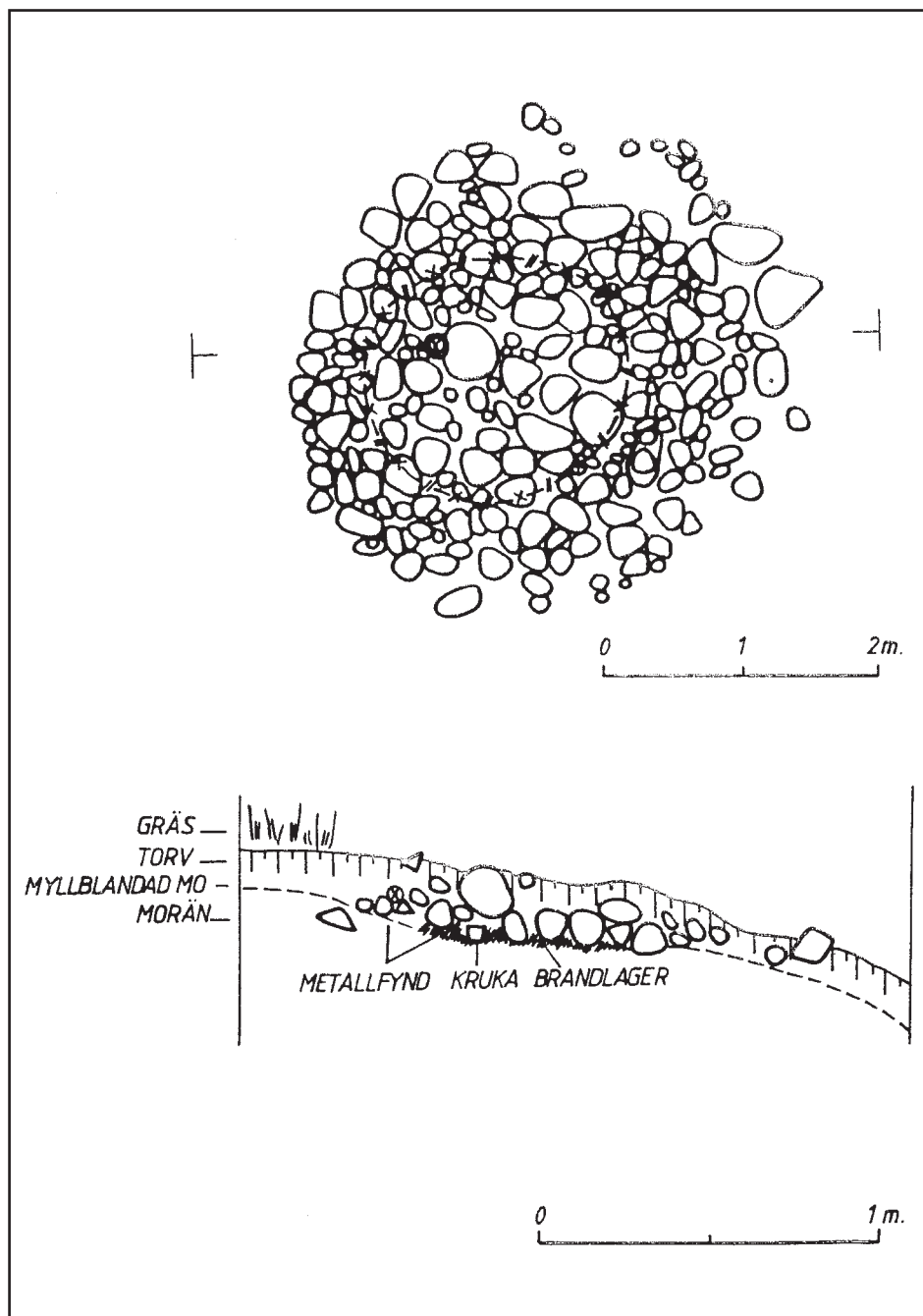
Berggrunden är ofta magmatisk, med ett tunt lager jord ovanpå som är känsligt för olika slags påverkan. En kalkhaltig berggrund, som i stora delar av Europa, klarar bättre av försurande luftföroreningar (se Figur 2). En stor del av de globala luftföroreningarna från NV Europa deponeras också i Skandinavien. Västsverige och Norges västra regioner påverkas i särskilt hög grad.

Miljöhot mot olika fornlämningstyper och regioner har bl. a. diskuterats av Agneta Lagerlöf och Inga Ullén i rapporten "Nedbrytning av arkeologiskt material i jord" (Borg et al., 1995). Det ligger nära till hands att anta, att fornlämningar som saknar jordfyllning, d.v.s. en stor del av gravarna från bronsåldern och järnåldern, är särskilt utsatta för förändringar i miljön. Med tanke på den pågående miljöförstörelsen måste även andra fornlämningstyper inkluderas, t.ex. boplatsmiljöer och gravfält med låga, övertorvade stensättningar i vilka föremålen ligger i utsatta ytliga lägen (se Figur 3 och 4).

En stor del av Sverige har starkt försurad mark. Det gäller framför allt västkusten, med stor deposition av försurande ämnen från industrier och från förbränning av fossila ämnen inom och utom landet, i kombination med känsliga jordar. Även i det smäländska höglandet har mycket låga pH-värden uppmätts. Man har också konstaterat att barrskogar i sig själva försurar marken. Många fornlämningar ligger i barrskogsbevuxen moränmark, som domineras av sur podsolfjord. Kalkrika regioner har däremot en buffrande effekt mot försurning, och på grund av detta



Figur 3. Låga, övertorvade stensättningar. De förekommer under hela järnåldern.



Figur 4. Exempel på stensättning från yngre järnåldern med brandlager.
Överst: Stensättningen framtagen i plan; urna och brandlagrets begränsning har markerats.
Nederst: Graven sedd i profil. Skala 1:50.

torde outgrävda arkeologiska fynd i vissa delar av Sydsverige, Öland och Gotland vara mindre utsatta. Några frågor rörande metallföremåls nedbrytning som ansågs viktiga att få besvarade var följande:

- Hur påverkas fornlämningens yttre och inre konstruktion?
- Har topografin och den lokala miljön någon betydelse?
- Hur påverkas korrosionen av markförsurning, andra föroreningar, nederbörd, jordartstyp, samt närhet till grundvattennivån?
- Har exponeringstiden någon betydelse?

Under 1990 initierades ett tvärvetenskapligt projekt med titeln "Nedbrytning av arkeologiskt material i jord" av arkeologerna Gunnel Werner och Agneta Lagerlöf vid Riksantikvarieämbetet. Projektet inleddes med pilotstudier av bronsföremål, eftersom antalet fynd var hanterbart och nedbrytningen inte orimligt stor. På grund av Gunnel Werners sjukdom och bortgång tog det emellertid lång tid innan det praktiska arbetet kom igång. År 1995 utsågs A. G. Nord vid RAA:s Antikvarisk-tekniska avdelning till projektledare, samtidigt som projektet döptes om till "Fynd och Miljö". Förutom bronsfynd har även arkeologiskt järn och en del benmaterial studerats. Under arbetets gång har ett flertal delrapporter och uppsatser publicerats, och projektet har presenterats på internationella konferenser samt vid universitet, länsstyrelser och museer. Projektet är skriftligt avrapporterat i form av årsredovisningar, fyra vetenskapliga uppsatser, samt föreliggande rapport.

Denna skrift beskriver först metallprojektet "Fynd och Miljö", dess uppläggning och erhållna resultat. Dessutom har nedbrytning av arkeologiskt benmaterial studerats inom ett annat forskningsprojekt, finansierat av EU DG-XII inom 4:e ramprogrammet för forskning och utveckling (ENV4-CT98-0712). I slutet av denna skrift sammanfattas resultaten för de båda projekten.

De senaste åren har några liknande studier genomförts i Europa. Scharff (1993) samt Brinch Madsen et al. (2002) har utfört omfattande studier på magasin-fynd av järn respektive brons. Wagner et al. (1997) och Gerwin (1999) har undersökt jordkemins inverkan på arkeologiska föremål. Resultaten från dessa studier överensstämmer tämligen väl med de resultat som presenteras i föreliggande skrift.

2. Syfte och målsättning

ARKEOLOGISKA FÖREMÅL i jord påverkas framför allt av följande faktorer:

- *Yttre faktorer*
Globala luftföroreningar, lokala föroreningar, klimatfaktorer, geologi, växtlighet, geografi och topografi.
- *Påverkan från fyndens närmaste omgivning*
Arkeologisk kontext, jordart, markkemi, hydrologi, mikroorganismer.
- *Vilken slags material det är*

Olika material påverkas mer eller mindre allvarligt av markförsurning och andra föroreningar. De arkeologiska material som påverkas mest är järn och benmaterial, huvudsakligen den oorganiska delen som består av kalciumfosfater. Även glas, keramik, brons och i viss mån silver påverkas relativt mycket, medan guld klarar sig utmärkt. Organiska ämnen som trä, läder och textilier påverkas mycket litet av de vanligaste antropogena föroreningarna, utan bryts huvudsakligen ned av luftens syre och mikroorganismer.

Vi har inriktat våra undersökningar på några av de känsligaste materialen, nämligen brons och järn i projektet "Fynd och Miljö", och benmaterial i det ovan nämnda EU-projektet. Målsättningen var följande:

- Genom studier av arkeologiska metallfynd (brons och järn) i museimagasin klarlägga sambandet mellan fyndens nedbrytningsgrad och utgrävningsår.
- Genom statistisk analys identifiera känsliga regioner och fornlämnings typer i Sverige.
- Fastställa vilka faktorer (antropogena och andra) som har störst betydelse vid nedbrytning av arkeologiska föremål i jord. Markförsurningens inverkan studeras särskilt ingående.
- Göra prognoser om framtida bevarande av arkeologiskt material.
- Bidra med beslutsunderlag för berörda myndigheter i frågor rörande bevarande eller utgrävning av fornlämningar, samt i ärenden rörande MKB m.m.
- Bidra till allmän kunskapsspridning i den aktuella frågan genom publikationer, föredrag, seminarier, och internationella konferensföredrag.

3. Projektet "Fynd och Miljö"

3.1 Inledning

Som tidigare nämnts har projektet beskrivits av Borg et al. (1995), se även Mattsson et al. (1996). Dessa publikationer ger en bred bakgrund till detta tvärvetenskapliga projekt som är en samverkan mellan forskare inom arkeologi, kulturmiljövård, kemi, metallkorrosion, miljövård, konservering och statistik. Först genomfördes en genomgång av relevant litteratur. Insamling och undersökning (inklusive kemisk analys) av nyutgrävda brons- och järnföremål jämte tillhörande jordprover, samt noggrann dokumentation av arkeologi och miljö, genomfördes 1993-2000. Detaljerade uppgifter fanns för varje nyutgrävt objekt, men under denna period genererade de arkeologiska utgrävningarna förhållandevis få metallfynd, och vår undersökning omfattar endast ca. 300 föremål. Parallellt med studien av nyutgrävt material genomfördes därför en omfattande magasinsundersökning. Flera tusen brons- och järnfynd i olika museer undersöktes, och relevant dokumentation rörande utgrävningsår, arkeologisk kontext och förhållanden i övrigt sammanställdes. Inga kemiska analyser av museifynden utfördes, och relevanta jordprover saknades. Som ett värdefullt komplement för identifiering av känsliga regioner utarbetades ett antal försurningskänslighetskartor vid Chalmers Tekniska Högskola. Alla data har utvärderats statistiskt med hjälp av s.k. multivariatanalys.

3.2 Nyutgrävda metallfynd av brons och järn

I samband med pågående utgrävningar har de ansvariga arkeologerna sänt oss föremål av brons och järn, jordprover tagna intill fyndet, samt dokumentation rörande grävplats och omgivning m.m. Omkring 150 bronsfynd och 300 jordprover från 25 grävplatser, med tyngdpunkt på material från Mälardalen, har undersökts. Fynden dateras från tidig bronsålder till 1600-talet. Bronsfyndens nedbrytningsgrad (kallas *Fdet*) har klassats enligt en skala från 1 (välbevarade) till 5 (mycket korroderade), genom okulärbesiktning utförd av en och samma metallkonservator vid Riksantikvarieämbetet. Kriterierna bygger framför allt på mängden metall som omvandlats till korrosionsprodukter, med viss hänsyn taget till ytskiktets utseende (se Tabell 1). Sammansättningen för korrosionsprodukter och eventuellt kvar-

varande metallkärna har bestämts genom kemisk analys (svepelektronmikroskop med mikroröntgenanalys, samt röntgendiffraction). De påvisade korrosionsprodukterna har sammanställts i en uppsats av Nord, Mattsson och Tronner (1998). Föremålen har efter analys vanligtvis konserverats och returnerats till vederbörande institution.

Tabell 1. Klassning av bronsfyndens nedbrytningsgrad (*Fdet*)

<i>Fdet</i> = nedbrytningsgrad	Andel av föremålets metall som omvandlats till korrosionsprodukter
1 (nästan ingen korrosion)	0 - 10
2 (liten korrosion)	10 - 30
3 (ganska stor korrosion)	30 - 60
4 (avsevärd korrosion)	60 - 90
5 (nästan ingen metallkärna kvar)	90 - 100

Jordproverna har blivit klassificerade vid Chalmers Tekniska Högskola. Därefter har kornstorleksfördelningen bestämts med hjälp av en siktmaskin. Jorden har analyserats på konventionellt sätt, genom bestämning av fukthalt, glödgningsförlust (för uppskattning av organiska beståndsdelar), pH-värde, elektrisk ledningsförmåga, samt halter av vissa vattenlösliga salter. Med undantag för enstaka externa bestämningar utförda med plasm-spektrograf (ICP) har alla analyser utförts i vårt eget laboratorium vid Antikvarisk-tekniska avdelningen. Den arkeologiska kontexten, miljöföroreningar, geologi, topografi, markanvändning, vegetation m.m. har kodats enligt ett siffersystem. I projektets första skede användes 170 variabler (Mattsson et al., 1996), men efter flera statistiska utvärderingar har många variabler tagits bort eller bytts ut, varigenom antalet successivt reducerats till 87 (förutom identifikationer o.d.): 17 variabler för själva metallfyndet, 31 för jordprovet, 19 för arkeologin, och 20 för miljön i övrigt (Nord et al., 2000; Nord, Tronner & Mattsson, 2002a). Alla data har lagrats i en EXCEL-fil och utvärderats med statistiska metoder (se kap. 3.5). På ett liknande sätt har nyutgrävda arkeologiska järnfynd insamlats och klassats, totalt 145 fynd från 17 grävplatser. Järnfynden visade sig generellt vara i sämre skick än bronsföremålen. För att få en noggrannare

klassning av kvaliteten för dessa ofta mycket nedbrutna föremål, har den visuella undersökningen i de flesta fall kompletterats med röntgengenomlysning. Analyser och databehandling har genomförts analogt med bronsföremålsstudien.

3.3 Magasinsundersökningen

Ett av de viktigaste syftena med projektet var att jämföra föremål av brons respektive järn från olika regioner och fornlämningstyper och med olika utgrävningsår. Av denna anledning har omfattande studier genomförts av magasinsföremål, främst från Statens Historiska Museums samlingar, men även från samlingar i Göteborg och Visby. Undersökningen har koncentrerats till fynd från några viktiga regioner med olika geologi och försurningssituation: Västkusten, Uppland (inklusive Birka), Gotland och Öland. Totalt har ca. 2800 svenska bronsfynd och 1350 järnfynd undersökts, från sammanlagt ca. 1000 utgrävningsplatser. Omkring 400 norska bronsföremål från Stavangertrakten ingår i en kompletterande studie. För varje föremål har nedbrytningsgraden (*Fdet*) bestämts och kodats enligt den tidigare skalan från 1 till 5. Samtliga järnföremål har vägts och mätts samt undersökts med röntgengenomlysning (se Figur 5). I den mån det funnits uppgifter om utförda konserveringsåtgärder har dessa noterats. Även data för utgrävningsår, lokal, region, arkeologisk kontext och miljön i övrigt har kodats, i den mån de funnits att tillgå. Samtliga data har lagrats i två datafiler, omfattande ca 120 000 data för bronsfynden och 50 000 data för järnfynden.

3.4 Markförsurningens inverkan

Under de senaste decennierna har en allvarlig markförsurning ägt rum i Sverige (Grennfelt et al., 1985; Falkengren-Grerup, 1989; Hallbäcken, 1992). Försurande ämnen har tillförts via atmosfären genom antropogena utsläpp i samband med förbränning av olja och kol. Svavelföreningarna är allvarligast i detta sammanhang, eftersom de är förhållandevis stabila och kan transporteras hundratals mil. Kväveföreningarna, vilka främst emitteras från motorfordon, är mindre stabila och svårare att kartlägga. Även jordbruket bidrar till kväveutsläppen. Markförsurning har uppmätts och registrerats i flertalet län, och speciella kartor har färdigställts. Det finns även kartor, som visar den kritiska belastningsgränsen för olika regioner och nationer (Sverdrup et al., 1992; Hetteling et al., 1993). Det har nu visat sig, att den kritiska belastningsgränsen överskrids i många län, beroende på känslig mark med övervägande tunna jordskikt över magmatiska bergarter. Mar-



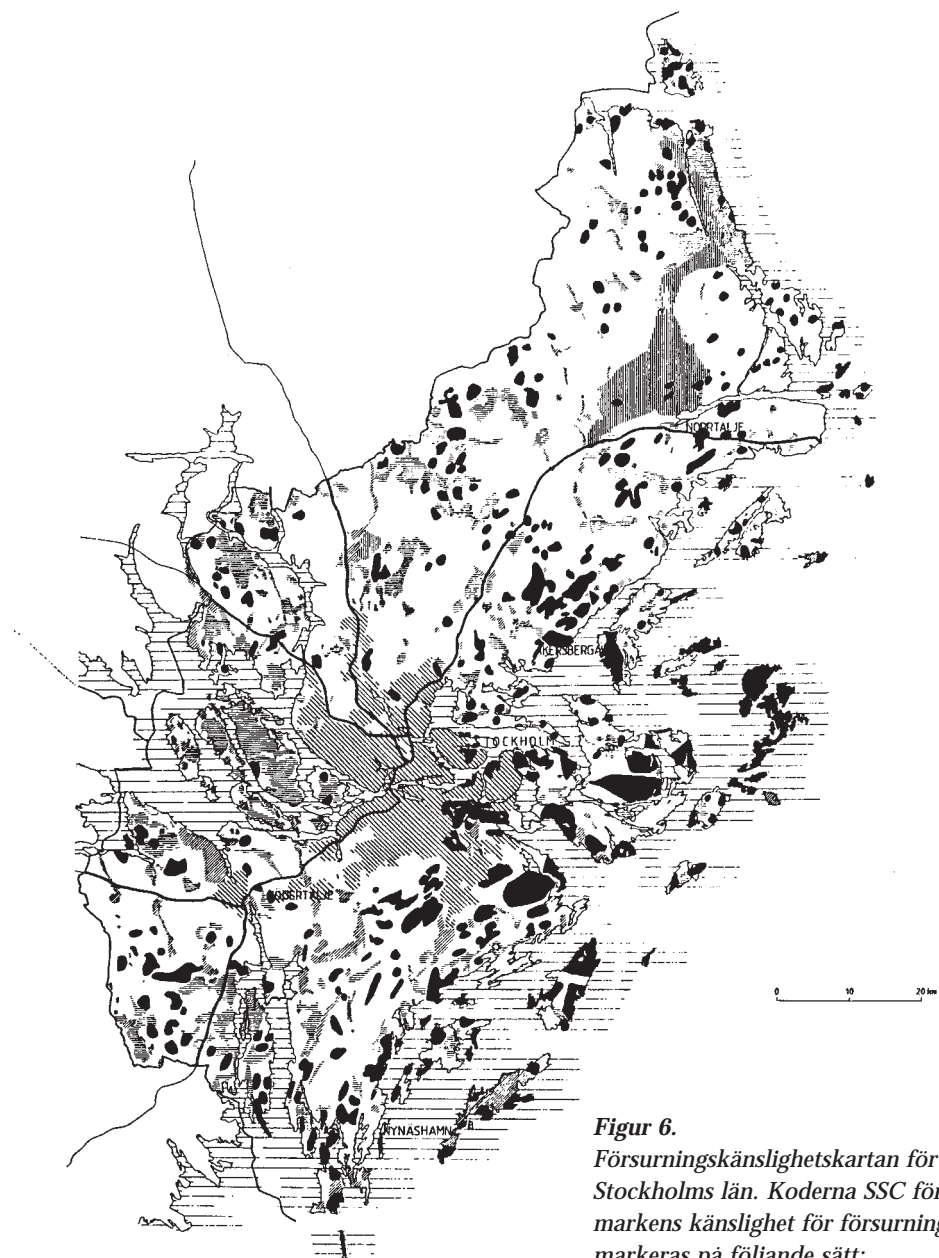
Figur 5. Röntgengenomlysning av järnfynd från Statens Historiska Museums samlingar. Överst: välbevarade nitar från Bondkyrka, Uppland (Fdet = 1). Nederst: svårt korroderade föremål från Solberga, Bohuslän (Fdet ca. 3-5). De "mörka" föremålen består nästan enbart av rost (Fdet = 5).

ken i Sverige är cirka tio gånger känsligare för försurning än i länder med övervägande kalkrik berggrund. Även markanvändningen spelar en viss roll. Under senare år har betydande minskning gjorts när det gäller svavelutsläpp till atmosfären, både i Sverige och i övriga Europa. Det har emellertid visat sig svårare att begränsa kväveutsläppen. Totalt sett har dock det försurande nedfallet över Sverige minskat under de senaste decennierna.

De försurningskänslighetskartor som tidigare funnits tillgängliga redovisar förhållanden vid ett jorddjup av 1-2 meter. De är därför inte tillämpliga för arkeologiska föremål i jord, vilka i allmänhet ligger ca. 0.2 - 0.5 m under markytan. Av detta skäl har speciella kartor upprättats vid Chalmers Tekniska Högskola, Geologiska Institutionen. För närvarande finns sådana försurningskänslighetskartor färdigställda för Stockholms Län, Uppland, Gotland, Öland, Halland och Bohuslän (Borg et al., 1995; Mattsson et al., 1996; Nord et al., 2000). Som exempel visas i Figur 6 en karta över Stockholms län (se nästa sida). Originalen är ritade i skala 1:250 000.

Kartorna anger jordens känslighet för försurning i olika områden. Eftersom jordens egenskaper påverkar de outgrävda metallföremålens korrosion, betyder det att de områden som anses som känsligast har en jordkemi som medför risk för allvarlig korrosion, eller att känsligheten hos jorden är ett uttryck för korrosionspåkänningen på de nedgrävda metallföremålen. Känsligheten kallas i engelsk text för "Soil Sensitivity Code", SSC, och anges i en skala från 1 till 8, där SSC=1 representerar en okänslig kalkjord, medan SSC=8 betecknar en synnerligen känslig jord. De olika klasserna har i detalj beskrivits av Borg et al. (1995). Tillsammans med andra miljödata kan försurningskänslighetskartorna ge underlag för en preliminär bedömning av fornlämningarnas förväntade bevarandestatus och risken för fortsatt nedbrytning. Underlaget bör dock kompletteras med en noggrann fältbesiktning av fornlämningsområdet, anpassad till den aktuella lokalen. Jordkänslighetsgraderna (SSC) har även använts vid den statistiska utvärderingen av data från magasinstudier. Samtliga fyndplatser har markerats på kartorna, och en jordkänslighetsgrad har bestämts för varje grävplats. Denna försurningskänslighetsgrad har vid statistisk multivariatanalys visat sig vara starkt korrelerad till fyndens nedbrytningsgrad.

Anm. I våra tidigare publikationer (Borg et al., 1995; Mattsson et al., 1996) användes för försurningskänslighetskartorna en annan indelning i klasser, där klass 0 representerade en synnerligen känslig jord, medan klass 8 användes för en okänslig kalkjord. Den nuvarande SSC-skalan är således omvänd jämfört med den tidigare.



Figur 6.
Försurningskänslighetskartan för Stockholms län. Koderna SSC för markens känslighet för försurning markeras på följande sätt: SSC 3 (||||) och 4 (=) ej så känslig jord, SSC 5 (vit) och 6 (///) ganska hög känslighet, SSC 7 (svart) och 8 (\\) mycket hög känslighet. SSC 1 och 2 (kalkberggrund) förekommer ej i detta län.

3.5 Resultat

Statistisk multivariatanalys av alla data har genomförts med programsystemen SIMCA (Umetri AB, Umeå) och SAS (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA). Vid dessa analyser kan alla variabler studeras samtidigt. Detta ger en "komplettare" bild av verkligheten än ett antal konventionella xy-diagram där man plottat två valda variabler mot varandra. De mest betydelsefulla faktorerna för nedbrytning av arkeologiska bronsföremål i jord visade sig vara markförsurning samt stor deposition av svavel- och kväveföreningar i förhållande till den kritiska belastningsgränsen. Detta överensstämmer med arkeologernas observationer att bronsfynd i Västsverige är mer korroderade än fynd på östkusten. Förutom luftföreningar kan även "naturliga" faktorer försura marken och påskynda korrosionen, t.ex. barrskog, medan lövskog och kalkberggrund istället ger en skyddande effekt. Förekomst av salter och sot (kol) i jorden visade sig också påskynda nedbrytningen. Jordarten är också betydelsefull. För att korrosion av metall skall uppstå, erfordras både tillförsel av ett oxidationsmedel (vanligen luftens syre) och närvaro av ett elektriskt ledande medium (vanligen vatten med lösta salter). De statistiska analyserna visade, att sand är skadligast för bronserna, eftersom metallen kan påverkas av luftsyre samtidigt som jordporerna är delvis fyllda med vatten. Däremot är lera (med begränsat lufttillträde) eller grus (där regnvatten sällan ligger kvar) ej lika korrosivt.

Metallsammansättningen i bronzen tycks ha en viss betydelse. I den första statistiska analysen (Mattsson et al., 1996) var antalet fynd alltför litet för att denna faktor skulle komma fram. Den senaste statistiska utvärderingen visade emellertid att järn i bronzen ökar korrosionsbenägenheten, medan höga halter av tenn istället minskar denna. Den arkeologiska åldern däremot inverkar föga på nedbrytningsgraden; bronsföremål som legat i jorden 300 eller 3000 år inom samma region var i stort sett lika mycket korroderade. Det förefaller som om en väsentlig del av nedbrytningen ägt rum de senaste 50-100 åren. Före detta tidsintervall var utsläpp av försurande ämnen och andra kemikalier mycket begränsat. Betydelsen av den arkeologiska kontexten framkom däremot inte så tydligt vid den statistiska analysen – därvidlag har magasinssstudierna givit mer.

Resultaten för de nyutgrävda järnfynden överensstämmer till stor del med bronsfyndresultaten (se Nord et al., 2000, 2002b). Järnfynden var generellt mer korroderade än bronserna, vilket är naturligt eftersom järn är en elektronegativ metall. Flertalet fynd i undersökningarna kommer från boplatser och gravfält på lands-

bygden. Ett antal järnfynd har grävts fram från Lunds medeltida stadskärna. Resultaten för dessa och liknande prov visade, att järnfynden i dessa fall hade klarat sig någorlunda bra. Miljön i medeltida kulturlager är emellertid mycket varierande och mycket speciell (Borg, 1993; Larsson, 1995, 2000). Särskilda undersökningar av arkeologiska föremål från sådana miljöer bör genomföras som komplement till de här redovisade studierna.

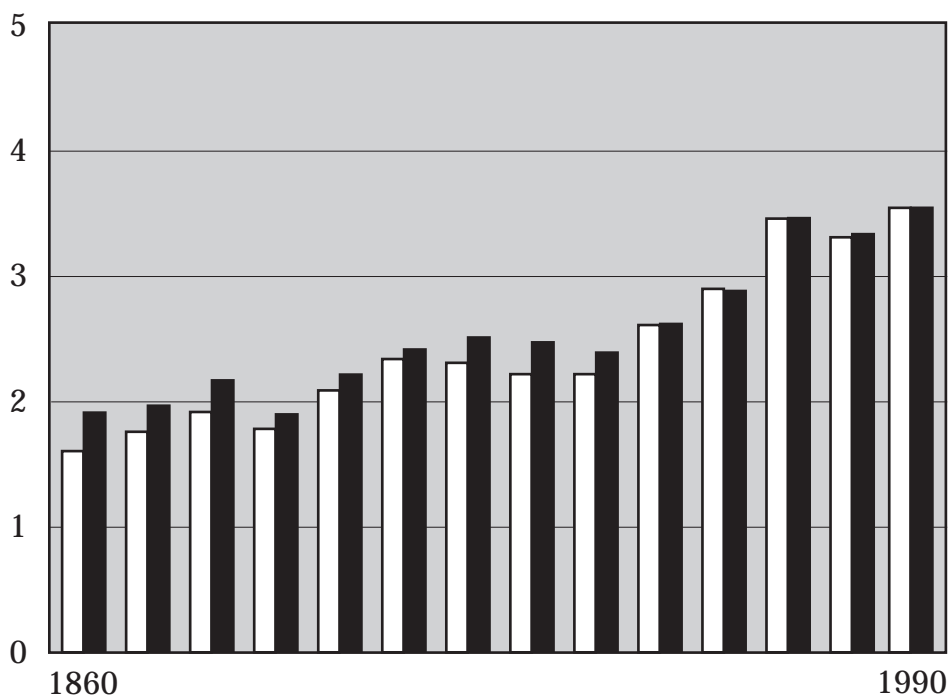
Data för de 2800 svenska magasinsfynden av brons har utvärderats med statistiska metoder. Först undersöktes sambandet mellan nedbrytningsgrad och utgrävningsår. Fynden från 1860 och framåt har delats in i tioårsperioder efter utgrävningsår, d.v.s. 1860-1869, 1870-1879 o.s.v. (se Figur 7). För varje grupp har ett medelvärde för de ingående föremålen nedbrytningsgrad, *Fdet*, beräknats. Observera att grupperna inte innehåller lika många fynd; under perioden 1940-1949 var av förklarliga skäl antalet utgrävningar mycket begränsat. Figur 7 visar dock tydligt, att nedbrytningen accelererat under det senaste seklet. I detta material ingår även lösfynd och depåfynd och man kan förmoda att dessa är bättre bevarade än genomsnittet, eftersom de svårt nedbrutna föremålen sannolikt inte togs till vara. Av denna anledning har vi i Figur 7 också givit motsvarande värden där dessa fyndtyper inte var inkluderade. Men även i detta fall syns samma olycksbådande trend.

Statistisk multivariatanalys samt konventionell statistik har genomförts. Emellertid lämpade sig våra magasinsdata inte särskilt bra för multivariatanalys, eftersom flertalet variabler hade digitala värden (t.ex. 0 för "nej" och 1 för "ja"). Statistisk multivariatanalys fungerar bäst när de flesta data har analoga siffervärden (t.ex. fukthalt, pH-värde, salthalt). Några signifikanta resultat erhöles dock. Bland annat framgick återigen att nedbrytningen är starkt korrelerad till utgrävningsåret, d.v.s. nyligen utgrävda föremål är generellt mer korroderade än de tidigare utgrävda. Det finns vidare en tydlig koppling till markförurningskänsligheten; bronsfynd från västkusten är generellt i sämre skick än föremål från Gotland och Öland. Fynden från Uppland, där jordarten i huvudsak utgöres av lera eller lerblandad sandjord, intog en mellanställning. Föremål funna i torvmossar var praktiskt taget alltid välbevarade på grund av att organiskt material i närheten av metallfynden konsumerar luftsyre och således orsakar syrebrist. Undersökningen har påvisat en accelererad nedbrytning under de senaste 50-100 åren och har verifierats för alla regioner. Brandgravar med rester av sot och kol har haft en skadlig inverkan; kol har god elektrisk ledningsförmåga, vilken ger upphov till s.k. galvanisk korrosion av metallföremål. Bronsföremål korroderar mer i gravkonstruktioner som stensättningar och rösen i jämförelse med jordtäckta gravar, om förhållandena i övrigt är likartade. Intressant nog var lösfynd och

depåfynd funna före 1920 i Bohuslän i lika gott skick som motsvarande fynd från andra regioner, vilket styrker hypotesen om en accelererad nedbrytning. Bronsfynden från Stavangerområdet visade en liknande nedbrytning som bronsföremålen från Bohuslän.

Magasinsstudierna omfattar också ca 1350 järnfynd. Den statistiska analysen bekräftade, att järnfynd från västkusten var i starkt nedbrutet skick och mer korroderade än bronsföremålen; de består till övervägande del av rost (jfr Nord et al., 2000, 2002b). Detta överensstämmer med vad som kan förväntas enligt korrosionskemin, eftersom järn är en betydligt mindre "ädel" metall än koppar (eller brons).

I övrigt överensstämde slutsatserna med resultaten från magasinssstudien av bronsföremål. Dessutom visade resultaten att föremål som lakats med vatten före konserveringen hade klarat sig bättre i magasinerna än icke lakade fynd. (Genom denna process har skadliga klorider lakats bort).



Figur 7. Medelvärde för nedbrytningsgraden (Fdet) i en skala från 1 (välbevarat fynd) till 5 (mycket korroderat föremål) för ca. 2800 bronsföremål, indelade i 10-årsintervall efter utgrävningsår. Lösfynd och depåfynd är medtagna (vita staplar) resp. icke medtagna (svarta staplar).

Resultaten från undersökningarna av arkeologiska brons- och järnföremål inom ramen för projektet Fynd och Miljö kan sammanfattas med följande punkter:

- Påtagligt accelererad nedbrytning under de senaste 50-100 åren har verifierats för alla regioner. En väsentlig del av nedbrytningen har ägt rum under denna period.
- Föremål från västkusten är vanligen mer korroderade än fynd från Uppland och Gotland.
- Järnfynd är generellt mer korroderade än föremål av brons.
- Markförsurning och stor deposition av svavel- och kväveföreningar i förhållande till den krisiska belastningsgränsen är de viktigaste nedbrytande faktorerna. Kalkrik mark har en skyddande effekt.
- Sand är skadligare än lera eller grus.
- Förekomst av salt och kol (sot) i jorden påverkar korrosionen.
- Brandgravar med sot och kolrester har haft en skadlig inverkan
- Metallfynden korroderar mer i gravkonstruktioner som stensättningar och rösen i jämförelse med jordtäckta gravar, om förhållandena i övrigt är likartade.
- Järnföremål som lakats med vatten före konserveringen har klarat sig bättre i magasinen än icke lakade fynd.

4. Nedbrytning av arkeologiskt benmaterial i jord (EU-projektet)

Benmaterial är mycket känsligt för markförsurning, och många lämningar håller på att försvinna. Man kan i dag få ut mycket värdefull information från benprover genom DNA-analyser, spårämnesanalyser, isotopmätningar m.m. Inom några generationer finns sannolikt ännu mer sofistikerade analysmetoder, och därför är det angeläget att det finns något benmaterial kvar att undersöka då. Riksantikvarieämbetets kemister vid den Antikvarisk-tekniska avdelningen har inom EU:s 4:e ramprogram för forskning och utveckling deltagit i ett internationellt tvärvetenskapligt projekt med titeln "The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property" (EU-ENV4-CT98-0712).

Projektet hade en budget på ca. 1 000 000 EURO och pågick under tre år, till 2001. Det genomfördes som ett tvärvetenskapligt samarbetsprojekt mellan institutioner i Nederländerna, Sverige, England och Italien. Syfte och genomförande överensstämde väl med projektet "Fynd och Miljö". Totalt insamlades ca. 300 benprover från 45 utgrävningar och 600 tillhörande jordprover, samt dokumentation av arkeologisk kontext och miljö. Ben har en mycket komplex sammansättning. Huvuddelen, ca 70 viktsprocent i färskt opåverkat benmaterial, utgörs av kalciumfosfater, främst kalciumhydroxyapatit. Dessutom ingår ca. 22 % proteiner (i färskt benmaterial), i huvudsak kollagen, samt vatten och porer. För att få en någorlunda komplett bild av benets nedbrytning var det nödvändigt att bestämma *tre olika faktorer*: (1) *det visuella utseendet* (klassat enligt en 5-gradig skala) som avspeglar konditionen hos det makroskopiska (oorganiska) materialet, (2) *kvarvarande mängd kollagen* (uttryckt i viktprocent), samt (3) *den histologiska mikrostrukturen*, klassad genom mikroskopisk undersökning av tunnslip. Jordproverna har analyserats vid Riksantikvarieämbetet och benproverna vid University of Newcastle. Alla data har bearbetats statistiskt med multivariatanalys (systemen SIMCA och SAS). Här sammanfattas några av resultaten (se även Kars & Kars, Eds., 2002):

- Benmaterialet från Sverige var sämst bevarat, särskilt benfynden från västkusten var mycket nedbrutna. Materialet från Italien var bäst bevarat.
- Markförsurningen påverkar framför allt den oorganiska delen av benen. En kalkberggrund ger en skyddande effekt.
- De hydrologiska förhållandena är viktiga. Stor vattengenomströmning påskyndar nedbrytning av benmaterial.
- Ben tycks bevaras bättre i sand än i lerjord, grus eller stenpackningar. (Anm. omvänt förhållande jämfört med metallfynden). Detta kan möjligen bero på att varken aeroba eller anaeroba mikroorganismer "trivs" i sandjord.
- Kollageninnehåll och histologisk mikrostruktur förstörs huvudsakligen av mikroorganismer (bakterier och svampar). Sannolikt är det dessutom många för oss okända faktorer som inverkar på nedbrytningen, exempelvis ärftliga faktorer, sjukdomar, levnadsvillkor, begravnings seder och klimatpåverkan.
- Djurben bevaras generellt bättre än människoben.
- Tidsfaktorn är betydelsefull, även om inte nedbrytningen står i direkt relation till den tid som benen legat i jorden.

Det måste beaktas att framför allt de arkeologiska och geologiska förhållandena är mycket olika i de deltagande nationerna. Därför har den arkeologiska kontexten

blivit starkt generaliserad vid kodningen av data. Detta har inneburit att den statistiska utvärderingen blivit alltför bred för att kunna fastställa vilka fornlämningstyper i Sverige som är mest utsatta vad gäller nedbrytning av arkeologiskt benmaterial. För att fastställa detta krävs en kompletterande studie av det svenska materialet, och RAÄ:s FoU-råd har beviljat medel för år 2002 till Antikvarisk-tekniska avdelningen för denna studie.

5. Synpunkter på bevarandefrågor i medeltida kulturlager

De metallfynd som studerats inom projektet "Fynd och Miljö" kommer till allra största delen från gravplatser och boplatser på landsbygden. Rikt sammansatta kulturlager, till exempel i medeltida stadskärnor, utgör en helt annan miljö för det arkeologiska materialet. Detta har diskuterats bl.a. i ett temanummer av tidskriften META (1993); se även Larsson (1995, 2000). Det senaste seklet har inneburit svåra påfrestningar för dessa kulturlager, delvis orsakat av en ökad aktivitet på byggnadssidan. Bevarandeförhållandena synes ej vara så goda som man förväntat sig utifrån äldre tillgänglig dokumentation. Även här tycks nedbrytnings-takten accelerera. Våra kunskaper på detta område är dess värre otillräckliga, och mer forskning är önskvärd. I detta avsnitt diskuteras först varför dessa kulturlager är speciella, därefter de hot de har utsatts för, och slutligen några förslag på åtgärder för att förbättra bevarandet.

Kulturlagren i våra äldre medeltidsstäder har byggts upp under många århundraden, i vissa fall under mer än tusen år. Under denna tid har en mängd material deponerats, såsom hushållsavfall, avskräde och byggnadsmaterial. Kulturlagren innehåller därför föremål av sten, tegel, keramik, glas, metaller, trä, läder och textilier, samt hushållsavfall, ben, växtrester, aska, sot o.s.v. Materialen och deras nedbrytningsprodukter kan påverka varandra på ett komplicerat sätt. Jordarterna kan variera inom ett och samma kvarter, och variationerna mellan olika stratigrafiska lager är ännu större. De hydrologiska förhållandena är varierande – dräneringar och avfallsdeposition har sannolikt ändrats många gånger under århundradenas lopp. Alla dessa faktorer medför att *bevarandeförhållandena är mycket komplexa och svårtolkade.*

Idag utsätts kulturlagren för ytterligare hot. En mängd markpåverkande åtgärder påverkar hela tiden dessa lager: nedläggning av avloppsrör, vattenledningsrör, elkablar, telefonkablar, TV-kablar, bredband o.s.v. Sådana arbeten sker praktiskt taget varje år, dessutom måste rör och kablar underhållas. Under vintern kanske gatorna runt kvarteret saltas, varigenom salt tränger ned i jordlagren. Framför allt i södra Sverige utsätts nästan all mark för olika luftföroreningar. Av dessa har de försurande ämnena störst inverkan på arkeologiska föremål i jorden. Även markens temperatur ökar i stadskärnorna, vilket accelererar nedbrytningsprocesserna. Stadskärnorna utsätts också för en omfattande nybyggnation. Grundvattennivån påverkas genom denna byggnation eller av dräneringar. Stora förändringar i fuktförhållanden är skadliga, till exempel ändring från vattendränkt mark till uttorkad jord eller vice versa inom en kort tidsrymd. När ett gammalt kvarter rivs för en modernare byggnad, utsätts således kulturlagren för svåra påfrestningar. Dessa faktorer vad gäller svenska förhållanden är mycket ofullständigt utredda, även om viss kunskap från Norge och England finns tillgängliga (se t.ex. Larsson, 1995, 2000; Reed, 2002). Här anges fem övergripande frågeställningar vad gäller problematiken i medeltida kulturlager:

- Vilka parametrar påverkar eller förstärker en nedbrytning av urbana kulturlager?
- Vilka observationer och dokumentationer har gjorts rörande nedbrytningsprocesserna?
- Vilka naturvetenskapliga metoder finns för att mäta och kontrollera nedbrytningen?
- Vilka konsekvenser har nedbrytning av urbana kulturlager för arkeologi och samhällsplanering?
- Vilka åtgärder kan vidtagas för att bevara så mycket som möjligt av dessa kulturlager och kulturobjekt?

För att undersöka tillståndet i ett medeltida kulturlager kan olika mätningar utföras. Detta bör ske kontinuerligt under en längre tid, åtminstone några år, och bör omfatta mätning av fuktförhållanden, pH-värde, temperatur, saltinnehåll m.m. Det finns speciella mätsonder och s.k. lysimetrar för detta. Mätningarna liksom datalagringen kan ske automatiskt. Tyvärr är denna s.k. "site monitoring" för kontinuerliga mätningar mycket dyrbar, och på grund av att kulturlagren är så varierande inom ett begränsat område, behövs ett stort antal mätpunkter. Det är naturligtvis önskvärt att i samband med exploateringar ta jordprover för kemisk analys, men även detta blir mycket kostsamt. Det är också angeläget att ta prover på olika föremål, som sedan analyseras med hänsyn till nedbrytning och sönderfallsprodukter.

6. Sammanfattning av resultaten

Material

De slutsatser som presenteras här nedan gäller bara de material vi har undersökt, d.v.s. brons, järn och ben. Många andra material förekommer i våra fornlämningar, såsom glas, keramik och ädlare metaller, men de påverkas ej lika mycket av markförsurning och andra föroreningar. En undersökning av detta har nyligen påbörjats i Nederländerna. Som ovan nämnts påverkas organiskt material i huvudsak av luftens syre och av mikroorganismer.

Regioner – luftföroreningar

Hög deposition av försurande svavel- och kväveföreningar i förhållande till den kritiska belastningsgränsen utgör en stor risk för nedbrytning av arkeologiska fynd. På grund av allvarlig markförsurning, orsakad av surt regn och ogynnsamma geologiska förhållanden, är Västsverige mer utsatt än andra regioner inom landet. Den kalkrika berggrunden på Gotland och Öland samt i vissa delar av Skåne och övriga Sydsverige synes medföra en skyddande effekt. Norrland (med få lokala undantag såsom Skellefteåregionen) är inte så utsatt för skadliga luftföroreningar.

Lokala effekter

Fornlämningsområden nära vältrafikerade vägar som saltas på vintern är särskilt utsatta. Detta gäller i många fall även områden i omedelbar närhet till industrier, kolkraftverk, stora flygplatser o.s.v.

Jordarter

Sandjord är mer korrosivt för metallfynd än lera och grus. Å andra sidan har vi indikationer på att sand är mindre skadligt för arkeologiskt benmaterial än lera.

Fuktförhållanden

En känslig zon finns strax ovanför grundvattenytan, eftersom porerna i jorden underifrån delvis blivit fyllda med vatten p.g.a. kapillärkraften, samtidigt som syretillförseln uppifrån är god. Detta påverkar i hög grad metallkorrosionen. Dessutom har en stor vattengenomströmning en nedbrytande effekt på benmaterialet. En ändring av grundvattennivån kan också medföra oväntade problem.

Arkeologisk ålder

Metallfyndens korrosion tycks till större delen ha ägt rum under de senaste 50-100 åren. För benmaterial är nedbrytningen mer kontinuerlig och tycks ha pågått under längre tid – ben från stenåldern är generellt sämre bevarade än medeltida eller nutida benmaterial.

Boplatser

Metallfynd på boplatser är i allmänhet mer skyddade än i gravar, beroende på att de är täckta av tjocka jordlager. Om kulturlager innehåller sot och kolrester verkar dock detta nedbrytande på bronser, något som kunnat konstateras på bronsåldersboplatserna Apalle. Andra antropogena aktiviteter påverkar också metallfynd negativt. Sammansättningen i medeltida stads- och bytomtslager är oftast så komplicerad att en särskild studie av dessa nedbrytningsmekanismer behöver göras. Det måste betonas att problemen *ej* är lösta för dessa kulturlager. Undersökningarna har till största delen baserats på fornlämningsområden på landsbygden, för vilka våra resultat är tämligen tydliga.

Gravar

Fynd i stensättningar, rösen och andra konstruktioner med större genomsläpplighet är mer utsatta för nedbrytning på grund av väder och vind samt luftföreningar än fynd i högar och stensättningar med kraftig jordmantel. Brandgravar och sotlager innehållande kolrester påskyndar nedbrytningen av metallföremål. Allt organiskt benmaterial försvinner naturligtvis vid kremering, men de kvarvarande resterna (d.v.s. de brända benen) tycks sedan ha bevarats förhållandevis bra.

Mikroorganismer

Bronsföremål avger ofta giftiga metalljoner (koppar, bly), vilka synes reducera risken för mikrobiologiska angrepp. Järnföremål kan eventuellt angripas av järnbakterier. Benmaterial däremot påverkas i hög grad av bakterier och svampar.

Anm. Resultaten har i detalj redovisats i några vetenskapliga uppsatser, se t.ex. Nord et al. (1998, 2002a, 2002b) samt Ullén et al. (2002). Våra resultat överensstämmer tämligen väl med tidigare publicerade resultat, se t.ex. Scharff (1993), Wagner et al. (1997), Gerwin (1999) och Kars et al. (2002).

Studierna har möjliggjorts tack vare medverkan av ett stort antal personer verksamma inom kulturmiljövården. Ett varmt tack riktas till alla arkeologer som

bidragit med material och data. Vi är även mycket tacksamma för all hjälp vi fått i samband med magasinssstudierna, och vi vill speciellt tacka Statens Historiska Museum, Göteborgs museum, dåvarande UV-Gotland i Visby, samt Museet i Stavanger.

Följande personer har i flera år medverkat i ett av eller i båda projekten: prof. em. Einar Mattsson, f.d. chef för Korrosionsinstitutet, docent Gunnar Ch. Borg vid Geologiska Institutionen på Chalmers Tekniska Högskola, 1:e antikvarie Inga Ullén vid Statens Historiska Museum, samt inom Riksantikvarieämbetets Antikvarisk-tekniska avdelning 1:e lab.ing. Kate Tronner, metallkonservator Monika Fjaestad och konservator Eva Christensson. Kemisterna Ingemar Österling, Katalin Holenyi, Per-Olof Ekström, Kjell Hellström och Jennie Sjöstedt har genomfört ett stort antal jordanalyser. Flera arkeologer har tillfälligt medverkat, bl.a. Pehr Lindholm, Martin Sandberg och Henrik Runesson. Inom EU-projektet rörande nedbrytning av arkeologiskt benmaterial har vi haft värdefull hjälp av osteologerna Helena Hedelin och Agneta Åkermark Kraft. Prof. Sture Holm och Dr Björn Areskoug har hjälpt oss med multivariatsystemet SAS. Vi vill tacka alla dessa medarbetare för deras insatser inom projektet.

Litteratur

Borg, G. Ch. (1993). Hotet mot medeltida kulturlager ur naturvetenskaplig synpunkt. *META* 93:2, 44-57.

Borg, G. Ch., Jonsson, L., Lagerlöf, A., Mattsson, E., Ullén, I. & Werner, G. (1995). Nedbrytning av arkeologiskt material i jord. Målsättning och bakgrund. *Konserveringstekniska Studier vol. 9*, 1-190. Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Brinch Madsen, H., Holme Anderson, J. & Brorson Andersen, L. (2002). Deterioration of prehistoric bronzes as an indicator of the state of preservation of antiquities in the agrarian landscape – preliminary results. *Under tryckning*.

Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N. & Wold, S. (1999). Multi- and megavariate data analysis using projection methods (PCA and PLS). Umetrics, Umetri AB, Umeå, pp. 1-490.

Falkengren-Grerup, U. (1989) Soil acidification and vegetation changes in south Swedish forest. *Dissertation*, Inst. för växtekologi, Lunds Universitet.

Fjaestad, M., Nord, A. G., Tronner, K., Ullén, I. & Lagerlöf, A. (1996). Environmental threats to archaeological artefacts. *Proc. 11th Triennial ICOM meeting, Edinburgh 1996*. James & James Publ. Vol. II, 870-875.

Forskning och Framsteg (2002): Ouppgrävda fornlämningar förstörs. Vol. 2002:5, p. 7.

Gerwin, W. (1999). Untersuchungen zum Einfluss von Bodenmilieu und anthropogenen Bodenveränderungen auf die Gefährdung unterirdischer Eisenfundstücke durch Korrosionserscheinungen. *Dissertation*, Universität Trier, Deutschland.

Grennfelt, P. I., Larsson, S., Leyton, P. & Olsson, B. (1985). Atmospheric deposition in the lake Gårdsjön area, SW Sweden. *Ecol. Bull.* 37, 101-108.

Hallbäcken, L. (1992). The nature and importance of long-term soil acidification in Swedish forest ecosystems. Dissertation. Dept. of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Hettelingh, J. P., Downing, R. J. & de Smet, P. A. M. (1993). Maps of critical loads, critical sulphur deposition and exceedances. In Downing, Hettelingh & de Smets (eds.) Calculation and mapping of critical loads in Europe – Status Report 1993. Coordination center for effects, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands, 6-19.

Kars, H. & Kars, E. (Eds.) (2002). The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property. Final report of the EU project ENV4-CT98-0712, p. 1-297.

Lindborg, U. (1990). Luftföroreningar och kulturminnen. Handlingsplan 90. *Konsveringstekniska Studier vol. 1*, 1-75. Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Larsson, S. (1995). Nedbrytningen av urbana kulturlager. En förstudie. *Arkeologiska rapporter från Lund, vol. 10*, 1-40. Stadshistoriska avdelningen, Kulturen i Lund, Lund.

Larsson, S. (2000). Stadens dolda kulturskikt. Lundaarkeologins förutsättningar och förståelsehorisonter uttryckt genom praxis för källmaterialproduktion 1980-1990. *Archaeologica Lundensia vol. IX*, 1-378. Kulturhistoriska museet, Lund.

Mattsson, E., Nord, A. G., Tronner, K., Fjaestad, M., Lagerlöf, A., Ullén, I. & Borg, G. Ch. (1996). Deterioration of archaeological material in soil. Results on bronze artefacts. *Konsveringstekniska Studier vol. 10*, 1-93. Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

META (1993) vol. 2. Temanummer för medeltida kulturlager, pp. 1-72. KF-Sigma, TLTH, Lund.

Nord, A. G. (1990). Bilavgaser och kulturminnen. *Konsveringstekniska Studier vol. 2*, 1-59. Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Nord, A. G. & Tronner, K. (1991). Stone weathering – air pollution effects evidenced by chemical analysis. *Konserveringstekniska Studier vol. 4*, 1-80. Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Nord, A. G., Mattsson, E. & Tronner, K. (1998). Mineral phases on corroded archaeological bronze artefacts excavated in Sweden. *Neues Jahrbuch für Mineralogie 1998*, 265-277.

Nord, A. G., Ullén, I., Tronner, K. & Fjaestad, M. (1999). The deterioration of archaeological material in soil. The 1999 status report of the national Swedish project "Finds and environment". Internrapport, pp. 1-70, Antikvarisk-tekniska Avdelningen, Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Nord, A. G., Ullén, I., Tronner, K., Sjöstedt, J. & Runesson, H. (2000). The deterioration of archaeological metal artefacts in soil. The year 2000 status report of a national Swedish project. Internrapport, pp. 1-50, Antikvarisk-tekniska Avdelningen, Riksantikvarieämbetet, Stockholm.

Nord, A. G., Tronner, K. & Mattsson, E. (2002a). Factors influencing the deterioration of archaeological bronze artefacts in soil. Insänd till *Corrosion Science*.

Nord, A. G., Ullén, I. & Tronner, K. (2002b). On the deterioration of archaeological iron artefacts in soil. Accepterad för publicering i *Fornvännen*.

Reed, I. (2002). In situ bevaring – erfaringer og resultat fra Tønsberg, Norge. Publ. Sem. *Bygga på kulturlager*, Uppsala 6 juni 2002 (www.raa.se).

Scharff, W. (1993). Gefährdung archäologischer Funde durch immissionsbedingte Bodenversauerung. Rapport från Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Schwäbisch Gmünd und Stuttgart, Deutschland, pp. 1-114.

Sverdrup, H. Warfvinge, P., Frogner, T. Håoya, A., Johansson, M. & Andersen, B. (1992). Critical loads for forest soils in the Nordic countries. *AMBIO 21:5*, 348-355.

Ullén, I., Nord, A. G., Fjaestad, M., Borg, G. Ch. & Tronner, K. (2002). Bronze artefacts from Swedish museum collections. A study of degradation, related to environment, context and excavation date. *I manuskript*.

Wagner, D. (Ed.) (1997). Soil archive classification of European excavation sites in terms of impacts of conservability of archaeological heritage. Final report from the EU project EV5V-CT94-0516. Institut für Instandhaltung GmbH, Iserlohn, Deutschland.

Riksantikvarieämbetets förlag
ISBN 91-7209-282-3