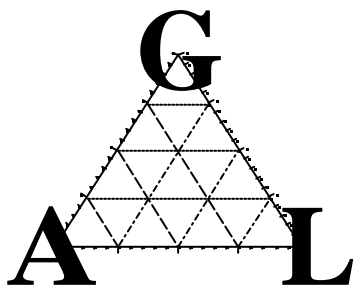


GEOARKEOLOGI

Projektet Romartida järnhantering i Gästrikland



Geoarkeologiskt Laboratorium

Forskningsrapport R0103

Riksantikvarieämbetet

Avdelningen för arkeologiska undersökningar
UV GAL

*Lars-Erik Englund
Lena Grandin*

Innehåll

SAMMANFATTNING.....	3
INLEDNING.....	4
KRÅKNÄSFYNDET OCH DET ARKEOLOGISKA SAMMANHANGET.....	4
SPADFORMADE ÄMNESJÄRN.....	4
SMÅLTOR	5
BLÄSTUGNAR	5
PROJEKTET ”ROMARTIDA JÄRNHANTERING I GÄSTRIKLAND”	6
MÅLSÄTTNING.....	6
PLANERING	6
GENOMFÖRANDE	7
PROJEKTETS POTENTIAL I NATIONELL OCH INTERNATIONELL BELYSNING.....	7
GEOARKEOLOGISKA LABORATORIETS ROLL I PROJEKTET.....	9
GÅLS SPECIALISTKOMPETENS.....	9
ALLMÄNT OM ARKEOMETALLURGISKA UNDERSÖKNINGAR.....	9
SPECIFIKA FRÅGESTÄLLNINGAR.....	10
ARKEOLOGISK UNDERSÖKNINGS- OCH DOKUMENTATIONSTEKNIK.....	10
ANALYSER.....	11
TOLKNINGAR.....	11
REKONSTRUKTIONER.....	12
EXPERIMENTELL VERKSAMHET	12
PROJEKTETS BIEFFEKTER.....	13
NATIONELL OCH INTERNATIONELL UPPMÄRKSAMHET	13
UTSTÄLLNINGAR.....	13
TURISM.....	13
JÄRNRIKET	13
REFERENSER.....	14
BILAGOR.....	16
TERMINOLOGI.....	16
ALLMÄNT OM ANALYSER AV ARKEOMETALLURGISKA MATERIAL	17
RAPPORTER FRÅN GEOARKEOLOGISKT LABORATORIUM.....	22
<i>Analysrapporter.....</i>	<i>22</i>
<i>Forskningsrapporter.....</i>	<i>29</i>

Sammanfattning

Målsättningen med ett arkeometallurgiskt projekt i Torsåker är att experimentellt försöka tillverka blästjärn med samma utseende och kvalitet som smältorna i Kråknäsfyndet och av det framställda järnet smida spadformade ämnesjärn med samma utseende och kvalitet som dem i Kråknäsfyndet. Smältorna kommer att tillverkas i en rekonstruerad blästugn av samtida, dvs romartida typ. För närvarande har vi mindre god uppfattning om hur blästugnarna såg ut i Gästrikland, eller hur de drevs. Ingen har ännu rekonstruerat och provat göra järn i en blästugn av romartida typ och därför vet vi heller inget om hur den använda reduktionsprocessen var beskaffad. En arkeologisk undersökning av en välbevarad blästa utgör därför en förutsättning för rekonstruktionsarbetet. Tidigare undersökningar har inte lyckats visa hur schakt och pipa var beskaffade eller vilken luftförsörjningsprincip som användes.

Den projektdel som anslag nu kommer att sökas för inleds med en arkeologisk undersökning av en romartida blästa på Dansarberget, RAÄ 336, Torsåkers socken. Undersökningen planeras och genomförs av Geoarkeologiskt Laboratorium, som också har det ekonomiska och vetenskapliga ansvaret. Medlemmar i *Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap* och *Årsunda Arkeologigrupp*, deltar i och är en förutsättning för fältarbetet, i mån av tid och möjlighet deltar även Elise Hovanta, *Stigfinnaren*.

Projektet *Romartida järnhantering i Gästrikland*, lokalt också kallat *Torsåkersprojektet*, kan beskrivas i tre delprojekt:

Fas 1. Inledande sonderingar. Analys, bearbetning och utvärdering av fynd och fyndplatser i Torsåker (Kråknäset m fl platser). I princip avslutad.

Fas 2. Arkeologisk undersökning av en välbevarad romartida blästa i Torsåkers sn. RAÄ 336, Dansarberget, Torsåkers sn, har bedömts ha hög forskningspotential och har utpekats som lämplig för en vetenskaplig undersökning. Genomförs våren eller hösten 2002.

Fas 3. Experimentell järnframställning i rekonstruerad blästa med syftet att framställa spadformade ämnesjärn av samma kvalitet som de i Kråknäsfyndet. Avsikten är att blåsa järn två gånger per år, med start våren 2003.

Fas 1 kan i princip betraktas som avslutad. Det som i skrivande stund återstår är att genomföra en ¹⁴C-datering på kol från den ena smältan. Anslag kommer närmast att sökas för fas 2 (fältarbetsfasen). En tilläggsansökan kan bli aktuell för fas 3 (den experimentella fasen) när fas två har avslutats och avrapporterats. Fas 3 bekostas främst genom ideella insatser av medlemmarna i *Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap* och *Årsunda Arkeologigrupp*.

Publicering i vetenskapliga och populärvetenskapliga former görs fortlöpande under projektets gång. Analyser av två spadformade ämnesjärn har publicerats (Grandin 2000). Fas 1 avslutades i princip i och med valet av en blästa på Dansarberget som lämplig för en framtida vetenskaplig undersökning och en experimentplats vid Gammelstilla bruk (Englund 2001).

Inledning

Innehållet i föreliggande rapport bygger huvudsakligen på en studieresa Lars-Erik Englund gjorde tillsammans med medlemmar ur Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap och Årsunda Arkeologigrupp (3-4 juli 2001, Englund 2001) och på de diskussioner som genomförts sedan GALs föredragsresa till Torsåker den 4 april 2001. Efterhand har tankar om ett gemensamt projekt vuxit fram och det är dessa tankar som nu presenteras (19 juli 2001). I centrum för projektet står fynden från Kråknäset i Torsåkers socken, Gästrikland.

Kråknäsfyndet och det arkeologiska sammanhanget

Vid Kråknäset i Torsåker påträffades 1993 ett enastående fynd, bestående av tolv spadformade ämnesjärn och två smältor från förhistorisk järnframställning. ¹⁴C-datering av ett ämnesjärn antyder att det tillverkades omkring Kristi födelse. Smältorna, som påträffades några meter från ämnesjärnen men ändå nära antas med hänsyn till fyndomständigheterna vara samtida med ämnesjärnen. Denna dateringshypotes behöver prövas genom direkt datering på i smältorna inneslutet träkol. Fortsatt resonemang bygger på att smältorna verkligen är samtida och har samma ursprung som de spadformade ämnesjärnen.

Spadformade ämnesjärn

En vanlig uppfattning baserad på äldre forskning är att denna typ av ämnesjärn härrör från huvudsakligen yngre järnålder eller perioden 500–1100 e Kr (t ex Hallström 1934; Stenberger 1964:434; Hallinder & Haglund 1978:33f) men bara ett har daterats direkt, dvs på det i järnet kemiskt bundna kolet. Ett spadformat ämnesjärn från Jämtland har på detta sätt daterats till vikingatid (Magnusson 1994:67). En på samma sätt nyligen genomförd datering av ett av de tolv spadformade ämnesjärnen från Kråknäset i Torsåker visar att detta är från första århundradet efter Kristi födelse (Ua-16876). Resultatet av dateringen är den hittills äldsta. I sammanhanget bör påpekas att Hallström inte var främmande för en generell datering tillbaka till romersk järnålder. Enligt honom påträffades ett spadformat ämnesjärn i Flos, Burs sn, Gotland, i ett kulturlager med daterande fynd av keramik och glaspärlor från denna tid (Hallström 1927:11; 1934:88). Under förutsättning att dateringarna är riktiga, och det finns ingen anledning att tro något annat, var spadformade ämnesjärn en begärlig vara under ca 1000 år, vilket i sig torde vara unikt. Något annat halvfabrikat har veterligen inte haft lika lång produktionstid.

Spadformade ämnesjärn har påträffats på ett flertal platser med huvudsaklig utbredning i Jämtland, Hälsingland, Medelpad och Gästrikland, vilka utgör de förmodade produktionsområdena (Hallinder & Haglund 1978). Ämnesjärnen har huvudsakligen liknande form men varierar något bl a vad gäller längd och vikt. De tidigare dokumenterade fynden från Gästrikland tillhör de större. De tolv aktuella ämnena tillhör de största. De är ca 550 mm långa och väger ca 1 kg vardera. Spadformade ämnesjärn av jämförbar storlek är kända endast från gravfynd i Uppland, framför allt båtgravarna i Valsgårde som representerar en högstatusmiljö från vendedtid (Arwidsson 1942).

Metallografiska analyser som har genomförts på det daterade ämnesjärnet och ytterligare ett ämnesjärn ur samma fynd visar att dessa består av ett tämligen mjukt järn med något högre kolhalter (lågkolhaltigt stål) i ytterkanterna. Båda ämnesjärnen är jämna och goda i kvalitet och innehåller endast små mängder innesluten slagg vilket inte försämrar deras kvalitet nämnvärt. Tidigare har endast ett mycket begränsat antal analyser utförts och med liknande resultat på denna ämnesjärnstyp (Tholander 1971; Hansson & Modin 1973; Thålin 1973).

Smältor

De två smältorna funna i anslutning till de spadformade ämnesjärnen är veterligen de första kända från denna tid. Smältorna är av mycket god kvalitet. De innehåller förhållandevis små mängder slagg trots att de inte är bearbetade. Detta innebär att järnframställningsprocessen har varit effektiv. Kvaliteten på järnet i smältorna är, vad vi för tillfället känner till från en begränsad metallografisk undersökning, ett kolstål med kolhalter som genomgående är något högre än i ämnesjärnen (Grandin 2000). Deras utseende tyder på att de kan förknippas med den typ av slaggsållor och undersökta blästugnsrester som vi känner till sedan tidigare från denna tidpunkt i regionen. Mycket talar alltså för att blästugnsrester, ämnesjärn, smältor och slaggsållor skall förstås i ett och samma sammanhang.

Blästugnar

De romartida blästugnarna i Gästrikland måste ha varit mycket stora, kanske de största i sitt slag inom ramen för det svenska blästbrukets historia. Bottenslagger når imponerande vikter (ca 100-125 kg). Tillsammans med smältornas imponerande vikter – ca 25 respektive 33 kg – säger detta oss att omfattande mängder malm gått åt vid varje blåsning (uppskattningsvis ca 150-200 kg), att ugnen varit konstruerad för att klara av denna mängd samt att processen fortlöpt under många timmar, kanske dygn, vilket måste ha krävt en tämligen omfattande arbetsinsats och organisation. Vi har för närvarande mycket vaga uppfattningar om hur romartida järnframställningsugnar såg ut i drift och hur de sköttes. Genom undersökningar i bland annat Årsunda och Österfärnebo har vi erhållit viss kunskap om hur de underliggande slaggsamlingsgroparna till ugnarna såg ut, däremot inte om schakten och ugnspiporna. Vi tror oss veta hur slaggs separationen gick till, vilken malm och vilket bränsle smederna använde, men exempelvis inte om ugnarna drevs med naturligt luftdrag eller bälgar. Även i andra detaljfrågor är vi okunniga.

I Torsåkers socken finns, förutom de spadformade ämnesjärnen och smältorna, flera kända slaggsvarp och malmförekomster. Det senare innebär att det finns goda förutsättningar att b-kalisera även blästugnsresterna i området. Dessa är aldrig synliga före avbaning av de översta marklagren. Av erfarenhet vet vi att den slagg som producerats i ugnarna deponeras i deras omedelbara närhet. Det är således fråga om så kallade flergångsugnar, dvs ugnarna rensades efter varje blåsning och återanvändes, ett förfarande som inte var självklart under romersk järnålder. Både nationellt och internationellt fanns vid denna tid även ugnar vari slaggen lämnades i sina underliggande gropar. Piporna till dessa antas i vissa sammanhang ha flyttats och ställts över nygrävda slagsgropar (t ex Killick 1991:48).

Projektet "Romartida järnhantering i Gästrikland"

Målsättning

Målsättningen med ett framtida arkeometallurgiskt projekt i Torsåker är att experimentellt försöka tillverka blästjärn av samma utseende och kvalitet som smältorna i Kråknäsfyndet och av det framställda järnet smida spadformade ämnesjärn av samma utseende och kvalitet som dem i Kråknäsfyndet. Smältorna kommer att tillverkas i en rekonstruerad blästugn av romartida typ. I dag vet vi inte hur de romartida blästugnarna såg ut, eller hur de drevs. Ingen har ännu rekonstruerat och provat göra järn i en dylik blästugn och därför vet vi heller inget om hur den använda reduktionsprocessen var beskaffad. En arkeologisk undersökning av en välbevarad blästa utgör därför en förutsättning för rekonstruktionsarbetet. Tidigare undersökningar har inte lyckats visa hur schaktet var beskaffat eller vilken luftförsörjningsprincip som användes. Kanske inte heller en framtida undersökning kan ge svaren på dessa och andra detaljfrågor. En helt ny undersökning skulle dock innebära att nya frågor baserade på de senaste forskningsrönen skulle hamna i fokus.

Målsättningen är högt ställd jämfört med annan genomförd eller pågående arkeometallurgisk verksamhet. Redan detta är värt all uppmuntran. Skulle också målsättningen uppnås, vilket i långa loppet är avhängigt projektdeltagarnas uthållighet, kommer resultatet med största sannolikhet att uppmärksammas internationellt. Många, både nationellt och internationellt, har känt sig kallade att försöka framställa järn enligt de gamla och sedan länge övergivna metoderna. Få har lyckats (t ex Lindblad 1988; Crew 1991a; Englund 1994a).

Planering

Projektet *Romartida järnhantering i Gästrikland*, ibland kallat *Torsåkersprojektet*, kan underdelas i tre delprojekt:

Fas 1. Inledande sonderingar. Analys, bearbetning och utvärdering av fynd och fyndplatser i Torsåker (Kråknäset m fl platser).

Fas 2. Arkeologisk undersökning av en välbevarad romartida blästa i Torsåkers sn. Dansarberget, RAÄ 336, Torsåkers sn, har bedömts ha hög forskningspotential och utpekats som lämplig för en vetenskaplig undersökning. Genomförs våren eller hösten 2002.

Fas 3. Experimentell järnframställning i rekonstruerad blästa med syftet att framställa smältor och spadformade ämnesjärn av samma kvalitet som de i Kråknäsfyndet. Avsikten är att blåsa järn vid två tillfällen per år, med start våren 2003.

Publicering i vetenskapliga och populärvetenskapliga former görs fortlöpande under projektets gång. Analyser av två spadformade ämnesjärn har redan publicerats (Grandin 2000). Fas 1 är i princip avslutad i och med utpekandet av dels en blästa på Dansarberget som lämplig för en framtida vetenskaplig undersökning, dels en experimentplats vid Gammelstilla bruk (Englund 2001). Anslag kommer närmast att sökas för fas 2 (fältarbetsfasen). En tilläggsansökan kan bli aktuell för fas 3 (den experimentella fasen) när fas två har avslutats och avrapporterats. Fas 3 bekostas främst genom ideella insatser av medlemmarna i *Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap* och *Årsunda Arkeologigrupp*.

Genomförande

Uppföljning av potentiella undersökningsområden omfattande utredning och bedömning av deras skick och bevarandegrad samt potential till kunskapsutbyte genomfördes som en avslutning på fas 1. Okulära besiktningar av slaggetyperna och slagggvarpens utseende genomfördes för att, grundat på tidigare kunskaper, datera blästorna analogt. En av blästorna utpekades som lämplig för arkeologiska insatser (Englund 2001). Frågor i fokus för rekonstruktionen och den experimentella verksamheten bör formuleras innan den arkeologiska undersökningen startar. Resultaten, det vill säga dokumentationen och tolkningen av dokumentationen ligger sedan till grund för en rekonstruktion av den undersökta blästorna. När rekonstruktionen är färdig återstår ett mycket mödosamt arbete enligt modellen "försöka-förkasta" innan experimenten kan förväntas ge resultat. Men med ett uthålligt arbetslag borde detta gå inom en inte alltför avlägsen framtid.

Projektgenomförande:

Fas 1: Inledande sonderingar 2001. I princip avslutad.

Fas 2: Arkeologisk undersökning 2002. GAL tar det ekonomiska och vetenskapliga ansvaret men undersökningen baseras i hög grad på ideella insatser av medlemmarna Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap och Årsunda Arkeologigrupp.

Fas 3: Experimentell verksamhet med start 2003. Genomförs två gånger per år, uppskattningsvis i ett tiotal år. GAL planerar och leder försöken tillsammans med Jonny och Kristoffer Skogsberg (smeder, *Torsåkers Kulturhistoriska Sällskap*). Jonny Skogsberg föreslås vara drivande/verkställande lokalt, med stöd av GAL och övriga deltagare.

Projektets potential i nationell och internationell belysning

Det saknas uppdaterade sammanställningar över svenska blästugnar och deras dateringar. De som försökt sammanfatta läget är Inga Serning (*Iron and Man*, 1979) och Gert Magnusson (*Lågteknisk järnhantering i Jämtlands län*, 1986). Flera trebetygsuppsatser har pekat ut svårigheterna med morfologiska och typologiska sammanställningar, t ex Franciska Sieurin-Lönnqvist (*Lågtekniska järnframställningsugnar i Sverige*, 1988) och Svante Forenius (*Lågteknisk järnframställning i Sverige*, 1989). Arkeologer med en (vad som i dag skulle kallas) traditionell forskningssyn tolkade ugnarna i sitt bevarade skick medan experimentellt lagda arkeologer försöker förstå hur de såg ut och fungerade i drift. Eftersom det senare angreppssättet är så mycket svårare än det förra kan man lite tillspetsat säga att vi vet mindre om blästugnar idag än vad man trodde att man visste för 15 år sedan. Detta hänger samman med att så få arkeologer har rekonstruerat "sin" ugn, och, än mindre, byggt och blåst järn i den. Därtill har experimentugnar som anlagts av hembygdsföreningar och motsvarande i de flesta fall saknat arkeologiska förlagor. Experimenten i Hälltjärn, Gästrikland, är värdefulla på många sätt men den använda blästugnen saknar förlaga i den arkeologiska verkligheten. Försöken har därmed ett förhållandevis lågt vetenskapligt värde, däremot är upplevelsevärdet högt.

Den nyligen frampreparerade ugnresten vid Lappkällan i Österbo, Årsunda sn, liksom ugnarna i Trösken, Årsunda, och Edsviken, Österfärnebo, tillhör en för tiden (de första fem hundra åren av vår tideräkning) och som det förefaller en tämligen enhetlig ugnstyp i Norrland. Utbredningsområdet som vi förstår det för närvarande sträcker sig från norra Uppland, in i Gästrikland, ännu ej upptäckt i Hälsingland, finns i Medelpad och i ett stråk genom Jämtland upp mot Norge och bort mot Trondheim. Slaggroparna i detta område har många likheter med varandra, liksom stearinlaggerna med sina vedavtryck. De valda lägena känns också igen, liksom organisationen vid respektive blästa (som hypotetiskt speglar organisationen i det samtida samhället).

Både nationellt och internationellt har intresset för experimentell arkeologi ökat markant under senare år. Inte minst har den experimentella järnframställningen nått stora framgångar. Målsättningarna har skiftat beroende på initiala frågeställningar och det sammanhang som experimenten förekommit i, exempelvis:

- För att testa den arkeologiska tolkningens rimlighet (t ex Crew 1991a, 1991b; Nørbach 1992; Englund 1994a, 1995; Stenvik 1996; jfr även *Early ironworking in Europe* 1997).
- Experimentell järnframställning i seminarieform och i utbildningssyfte (t ex *Nordic Iron Seminar* 1996; *Early Iron Production* 1997).
- Uppvisning i samband med hembygdsdagar och liknande.

Sammanfattningsvis kan sägas att vi på det hela taget har mycket vaga uppfattningar om hur järnframställning bedrevs i Gästrikland under äldre järnålder, hur smederna lyckades tillverka dessa från slagg så rena smältor med stålartad kvalitet, hur ämnenas spadform ska förstås och vad järnhanteringen innebar för producenterna och för samhället i övrigt, i termer av kvalitet, handel och ekonomi. Kort sagt, om Torsåkersprojektet lyckas med sin målsättning råder det ingen tvekan om att detta kommer att uppmärksammas och uppskattas både nationellt och internationellt.

Geoarkeologiska Laboratoriets roll i projektet

GALs specialistkompetens

Spjutspetskompetens är absolut nödvändig för att nå längre än vad tidigare undersökare har gjort. GAL består av en tvärvetenskapligt sammansatt grupp med sammanlagt över 80 års erfarenhet i arkeometallurgiska frågor. GAL är en av få institutioner i Europa som specialiserat sig på arkeometallurgi.

Specialistkompetens och lång erfarenhet underlättar för att kunna:

- Vara ajour med och förstå de senaste internationella forskningsresultaten.
- Ställa flera och mer komplicerade frågor till det arkeologiska materialet.
- Delta i en fortlöpande metodutveckling.
- Tolka det arkeologiska materialet genom kunskapsåterföring av experimentella erfarenheter.

Eva Hjärthner-Holdar (t ex 1996), Lars-Erik Englund (t ex 1994c) och Svante Forenius (1990) har samtliga erfarenheter av blästbruksundersökningar i fält med relevans för projektet. Englund har vid ett tidigare tillfälle försökt initiera forskning om den äldre järnhanteringen i Gästrikland (1983; 1984). Lena Grandin arbetar främst med fördjupade analyser av malm, slagg och metall. Peter Kresten har under flera år samarbetat med Inga Serning, en av pionjärerna inom svensk arkeometallurgisk forskning. Inga Serning var grundare av och verksam till sin bortgång vid Arkeometallurgiska Institutet (AMI) i Håksberg, föregångaren till GAL. För GALs skriftliga produktion se bilagd rapportlista.

Allmänt om arkeometallurgiska undersökningar

Arkeometallurgiska undersökningar avser allmänt att belysa och analysera problemställningar som rör ugnstyper, framställningsteknik, processkunskap, behov av upparbetning, smeders skicklighet, metallhantverkets produktionsinriktning, verksamhetens omfattning och organisation med mera. Några exempel på konkreta frågor:

- Hur mycket finns kvar av den ursprungliga blästugnen vid undersökningstillfället?
- Vilken ugnstyp rör det sig om? Bälldrift? Naturligt drag? Influenser? Särdrag?
- Vilken reduktionsprocess har smeden använt? Bränsleval? Slaggavskiljningsprincip?
- Vilka av järnhanteringsprocessen är representerade på den aktuella platsen och kan sambandet mellan malm, framställning och smide ses i materialet?
- Vilken/vilka malmtyper har använts?
- Vilken omsorg har blästjärnet krävt i upparbetningen?
- Vilken/vilka järnkvaliteter har bearbetats? Mjukt järn? Stål? Fosforhalt?
- Hur mycket järn har tillverkats? Per gång? Per kampanj? Per år? Totalt?
- Vad kan man tillverka av framställda järnkvaliteter?
- Hur såg blästugnen ut i drift? Går lämningen att tolka och rekonstruera till ursprungligt utseende?

Ju fler frågor av teknisk art som kan besvaras, desto bättre blir också underlaget för diskussioner om handel, förhållandet producent/konsument, kontrollen över järnhanteringen, samhällsorganisation och samhällsförändringar. Geoarkeologiskt Laboratoriums ambition vid allt projektdeltagande är att, om möjligt, delta redan i fältarbetet, dvs i undersöknings- och dokumentationsfasen. Geoarkeologiskt Laboratorium vill helst också delta i provinsamlingen för att säkerställa att prover med den bästa informationspotentialen väljs. Efterföljande arbete med tolkning av anläggningar och rekonstruktion av ugn och process, liksom bearbetning och tolkning av analysresultat, underlättas därvid avsevärt. Projekten avslutas alltid med en skriftlig rapport.

Specifika frågeställningar

I Sverige har det genomförts ett antal undersökningar av blästbrukslämningar men i få fall har undersökningarna lett fram till ett rekonstruktionsförslag på papper, än mindre till en fullskaleugn för provsmältningar. Rapporterna har i regel varit av sådan kvalitet att de endast med svårighet kan användas av forskare. Detta beror huvudsakligen på att de som ansvarat för undersökningarna har saknat erforderlig kompetens, liksom de som författat rapporterna (vilka dessutom i flera fall inte har varit samma personer som ledde och/eller genomförde undersökningarna). Rapporterna är ofullständiga, saknar stringent använd terminologi och diskuterar inte alternativa lösningar med hänvisning till äldre publikationer.

GAL anser exempelvis, till skillnad från vissa andra forskare, att det måste ha stått en pipa över den romartida slagropen. Detta av processtekniska skäl. Genomgångstiden måste vara så lång att malmen hinner reduceras, dvs hinner uppnå så hög temperatur att den smälter innan den passerat blästerfokus. För detta fordras att schaktet har lämpligt avpassad höjd ovanför luftintaget (-en). Men, förekomsten av en ursprunglig pipa kan vara svår att bevisa i det enskilda fallet, än värre att hypotetiskt tolka hur schakt och pipa kan ha sett ut under drift. *Det är därför viktigt att nya arkeologiska undersökningar genomförs med nya specifika frågeställningar baserade på de senaste forskningsresultaten!* Om inte kommer vi bara att kunna bekräfta rudimentär kunskap och i sämsta fall felaktigheter som redan framförts i olika sammanhang. Den sortens projekt är inte värda pengarna de kostar.

Fynden i Torsåker är av största vikt för att förstå hur järnhanteringen bedrevs under romartiden. Vi vet hur ugnens nedre del såg ut, vad man fyllde den med och hur produkterna såg ut, dvs smältorna och de därav smidda spadformade ämnesjärnen. Vi kommer aldrig ifrån att pipan måste rekonstrueras hypotetiskt men ju bättre underlag desto rimligare rekonstruktion.

De båda undersökningarna i Årsunda (Trösken, Österbo) har lämnat en lång rad frågor obesvarade, t ex om:

- Ugnens design och storlek (pipans höjd och utformning ovan mark, liksom om schaktets form och volym).
- Använd luftförsörjningsprincip (bälg- eller dragugn).
- Antalet luftintag och deras placering.
- Huruvida träkol eller ved användes i chargeringen.
- Principerna för använd reduktionsprocess.
- Hur slaggspareringen gick till i detalj.
- Hur blästjärnstillverkningen organiserades på blästan (inte minst om flera ugnar var i samtidig drift).

Arkeologisk undersöknings- och dokumentationsteknik

Idag görs arkeologiska inmätningar med totalstationer i GIS-miljö. INTRASIS, ett GIS-baserat informationssystem för hantering av arkeologiska fältdata, har utvecklats i samverkan mellan Riksantikvarieämbetets Uppdragsverksamhet och LandFocus IS AB. GAL lägger mycket stor vikt vid dokumentationen och tolkningen av fältdata. Det spelar liten roll om inmätningarna aldrig är så noggranna om arkeologen inte vet vad han/hon mäter in. Det är därför av utomordentligt stor betydelse att den som undersöker och dokumenterar en fornlämning har stor egen erfarenhet och förstår vikten av att tillkalla ytterligare expertis vid behov, därtill förmår göra dokumentation och tolkningar begripliga i text. Annars avstannar i princip forskningsprocessen. Undersökningsresultatet kommer inte till fortsatt användning.

Det är också brukligt att stora ytor maskinavbanas inför undersökningar på uppdragsbasis. I forskningssammanhang förekommer det fortfarande att fornlämningen och kringliggande ytor

avbanas för hand. Detta kommer att ske i Torsåker och anledningen är att ingen information ska behöva gå förlorad i onödan. Det får hellre ta lite mera tid.

GAL har för avsikt att bilda en kommitté eller referensgrupp som knyts till projektet, bestående av ca fem experter inom arkeologi och arkeometallurgi. Det är bra om experterna också har ett brett kontaktnät. Namn som hittills förekommit i diskussionerna är:

- Professor Evert Baudou, Umeå
- Curator mag. art. Olfert Voss, Nationalmuseet, Köpenhamn
- Professor Per H Ramqvist, Mitthögskolan, Örnköldsvik
- Avdelningschef Kristina Lamm (Riksantikvariämbetet, UV), Stockholm
- Professor Lars F Stenvik, Vitenskabsmuseet, Trondheim
- Archaeology Officer Peter Crew, Snowdonia National Park, Wales
- Professor Radomir Pleiner, Prag
- Docent Gert Magnusson, Jernkontoret, Stockholm
- Professor Andreas Hauptman, Bergbau Museum, Bochum
- Professor Birgit Arrhenius, Arkeologiska Forskningslaboratoriet, Stockholms universitet

Utöver dessa personer kan representanter för bidragsgivare och lokal kulturmiljövård komma att ingå i referensgruppen.

Analys

Material från den föreslagna järnframställningsplatsen har goda förutsättningar att ge en heltäckande bild av järnframställningen i området. Eftersom det finns slagg, såväl som malm i närheten, är det med hjälp av totalkemiska analyser möjligt att uppskatta hur effektiv järnframställningsprocessen varit (utvinningsgrad) efter att först ha undersökt det kemiska släktskapet mellan malm och slagg. Den totala produktionen kan under goda omständigheter då också uppskattas om den totala slaggmängden på platsen (i varpet) kan bestämmas. Kemiska analyser i kombination med petrografiska undersökningar av slaggen kan också beskriva processens utveckling och observera om material tillsatts för att förändra processen antingen för att påverka slaggens separation från smältan eller för att påverka slutprodukten, dvs har smeden haft för avsikt att producera ett mjukt segt järn, ett kolstål eller ett segt och hårdare fosforjärn. Det senare undersöks bäst om det finns rester av metalliskt järn i form av delar av smältan eller i slaggen men kan indirekt framgå även av slaggens sammansättning.

Denna typ av undersökning kan utföras med olika förutsättningar. Provvurval av malm, slagg, järn och eventuellt byggnadsmaterial föregås av en okulär klassificering i fält, baserad bland annat på slaggenas morfologi och typindelning. En mindre omfattande undersökning innebär en form av stickprov med färre analyser av varje typ för att få en uppfattning om vilken/vilka järnkvatiteter som producerats, malmens kvalitet och hur processen förlöpt vid någon av blåsingarna. För att få en mer omfattande bild av områdets produktion och eventuella teknikförändringar med tiden eller med syfte att erhålla olika kvatiteter krävs en större mängd analyser av såväl malmer (är malmen homogen eller inte, finns flera malmtyper) och slagger (är slaggen homogena i sammansättning i hela varpet eller varierar de med tiden) för att få ett bra statistiskt urval.

Tolkningar

Efter undersökning, dokumentation och fördjupade analyser av insamlat material (råvaror, metall, slagg, byggnadsmaterial m m) följer tolkningsarbetet. De anläggningar som undersöks är aldrig fullständigt bevarade. Nergrävda anläggningar (t ex kolningsgropar och fångstgropar) har klarat sig bättre genom århundradena än uppbyggda anläggningar (t ex hus och blästugnar). Blästugnar av den typ som förväntas i Torsåker var både nergrävda (slagguppsam-

lingsgropen) och uppbyggda (pipa och schakt). De begränsade data som undersökningen genererar läggs således till grund för en tolkning av hur ugnen kan ha sett ut och fungerat i drift, hur hela blästan var organiserad, och andra frågor av mer detaljerad karaktär.

Rekonstruktioner

Tolkningen ligger sedan till grund för rekonstruktioner på ritning av de olika anläggningarna på blästan, inte minst blästugnen. Denna ritningsrekonstruktion kommer sannolikt att visa sig vara felaktig på flera punkter. I en fullskalerekonstruerad blästugn, som så nära som möjligt följer den arkeologiska dokumentationen avseende byggnadsmaterial och detaljutformning, kan ugnens användbarhet prövas och dess egenskaper justeras efterhand man vinner insikt i hur reduktionsprocessen förlöper. Beroende på resultatet kan man behöva ändra formornas antal, storlek och riktning, vedens/träkolets och malmens chagering, enligt principen "försöka och förkasta", tills ett gott resultat har uppnåtts. Inte förrän då kan man hävda att den använda rekonstruktionen fungerar och att den arkeologiska tolkningen kan vara riktig, även om fullständig säkerhet aldrig kan uppnås.

Experimentell verksamhet

Den experimentella verksamheten syftar till att återskapa den romartida järnframställningen i Gästrikland. Målet är att tillverka blästjärn av samma utseende och kvalitet som smältorna i Kråknäsfyndet och av det framställda järnet smida spadformade ämnesjärn av samma utseende och kvalitet som dem i Kråknäsfyndet. I förlängningen kan man pröva hypoteser av typen: går det att tillverka järnkittlar med spadformade ämnen som utgångspunkt, så som föreslagits av Erik Tholander (1971).

GAL har omfattande erfarenhet av experimentell järnframställning. Eva Hjärthner-Holdar, Peter Kresten och Lena Grandin har i samarbete med Peter Crew, Wales, tillverkat järn i en relativt låg blästugn av bergmalm från Dannemora, något som för några år sedan ansågs omöjligt (Larsson, Hjärthner-Holdar & Kresten 1997). Lars-Erik Englund har under 20 år deltagit i och organiserat ett drygt hundratal experiment, de flesta inom ramen för det pågående avhandlingsarbetet "Blästbruk" (t ex Englund 1994a; 1995).

Projektets bieffekter

Nationell och internationell uppmärksamhet

Fynden från Kråknäset planeras visas upp i höst i samband med det internationella symposiet ”*The Introduction of Iron in Eurasia*”, 4-8 oktober, Uppsala, som arrangeras av GAL tillsammans med arkeologiska institutionen, Uppsala universitet. En skrivelse till Statens Historiska Museum (SHM) med en förfrågan om tillfälligt lån bör tillställas museet inom kort.

Kråknäsfyndet, undersökningarna på Dansarberget och experimenten vid Gammelstilla bruk kommer att publiceras på svenska och engelska, både i vetenskapliga och populärvetenskapliga sammanhang. Ett internationellt symposium arrangerat med anledning av fynd, undersökningar och experiment i Torsåker bör bli aktuellt om målsättningen uppnås, liksom att förläggna något av Jernkontorets årliga framtida höstmöten till Torsåker och Gammelstilla.

Utställningar

Ett önskemål är att fynden från Kråknäset kan visas upp i Gammelstilla i samband med den kommande arkeologiska undersökningen nästa sommar.

Kråknäsfyndet kommer (som det förefaller för ögonblicket) att ställas ut på Statens Historiska Museum (SHM) i Stockholm. Läns museet i Gävle har också framfört önskemål om att få ställa ut fynden. Riksantikvarieämbetet har i ett fyndfördelningsärende överlåtit fyndet till SHM som därmed äger fyndet (Beslut: Fyndfördelning av fyndmaterial från fornlämning nr 406, nr 406, Torsåkers sn, Gästrikland. 325-1315-2001).

Turism

Utställningen i Tegelhuset kommer att locka turister till Gammelstilla. Blåsningar planeras genomföras två gånger per år. Dessa tillfällen är väl lämpade för utflykter till Gammelstilla. Turister liksom lokalbefolkningen ges då tillfälle att på nära håll följa experimenten och att samtala med arkeologer och smeder om arkeologiska tolkningar, metallurgiska processer, järnets kvaliteter, om den romartida samhällsutvecklingen i Gästrikland med mera, med mera.

Järnriket

Gästriklands bergslag, liksom bergslager i andra landskap, är rika på bergshistoriska lämningar, såväl gruvor, hyttor, hamrar som på väl bevarade bruksmiljöer (vilket bl a framgår av läns museets broschyr: *Fyra fina utflykter*). Inom turistsatsningen *Järnriket* betonas de senaste 200 årens bergshistoriska utveckling kraftigt. Men järnframställning har bedrivits i Gästrikland i åtminstone 2000 år. Torsåkersprojektet kan ge ett väsentligt tillskott till projektet, dels genom att locka turister till undersökningen på Dansarberget, dels genom utställningen i Gammelstilla och dels genom att levandegöra kulturarvet med järnframställning i en fullskale-rekonstruerad blästugn och smide. Blästjärnsframställning i blästugnar är något helt annat än tackjärnsframställning i masugnar. Blästjärn är smidbart utan att smeden behöver manipulera kolhalten (dvs direkt framställt). Tackjärn behöver avkolas (färskas) för att bli smidbart (dvs indirekt framställt). Kuns-kaper om blästjärnsprocessen ger perspektiv på *Järnrikets* fokus på de senaste 200 årens utveckling och förändring inom järnframställningskonsten.

Referenser

Arwidsson, G. 1942. Valsgärde 6. *Die Gräberfunde von Valsgärde*, I. Uppsala.

Crew, P. 1991a. The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron. *Historical Metallurgy*. Volume 25, Number 1. London.

Crew, P. 1991b. Experimental iron smelting and bloom smithing, linked to archaeological evidence from two sites in north Wales. *Archeologie Experimentale. Tome 1 - Le Feu: métal et céramique. Actes du colloque international "experimentation en archeologie: Bilan et perspectives"*. Paris 1991.

Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments. 1997. Ed: L C Nørbach. *Technical Report Nr 3*. Lejre.

Early ironworking in Europe. Archaeology and experiment. Abstracts. 1997. Eds: P Crew & S Crew. Plas Tan y Bwlch.

Englund, L-E. 1983. *Produktion - Konsumtion - Överskott. Den lågtekniska järnhanteringens ekonomiska betydelse för Valbo, Årsunda, Hedemora och Husby socknar under perioden AD 700-1200*. C-uppsats. Arkeologiska institutionen. Umeå.

Englund, L-E. 1984. Äldre järnhantering i Gästrikland. Arkeologisk järnforskning 1980-83. *Jernkontorets bergshistoriska utskott, ser H 38:43-59*. Stockholm 1985.

Englund, L-E. 1994a. Experimentell järnframställning i rekonstruerade vikingatidsblästor. *Med hammare och fackla*. Stockholm.

Englund, L-E. 1994b. Tidig järnhantering i Ockelbo. *Läddikan 1:94*. Gävle.

Englund, L-E. 1994c. *Järnframställning i Österfärnebo för 1800 år sedan*. Opublicerat manuskript.

Englund, L-E. 1995. Survey, excavations and experiments in Tranemo, SW Sweden. *Iron for Archaeologists. Occasional Paper No. 2*. Eds: P. Crew & S. Crew. Plas Tan Y Bwlch.

Englund, L-E. 2001. Minnesanteckningar från en exkursion i Torsåkers och Årsunda socknar, Gästrikland, den 3-4 juli 2001. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R0101*. Uppsala.

Forenius, S. 1990. Stalbo - en tidig järnframställningsplats i Uppland. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H 46*. Stockholm.

Fyra fina utflykter i Järnriket Gästrikland 2001-02. Läns museet Gävleborg, Gävle.

Grandin, L. 2000. Spadformade ämnesjärn från Torsåker. Inledande arkeometallurgiska analyser. Kråknäset, Torsåkers sn, Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-2000*. Uppsala.

- Hansson, T. & Modin, S. 1973. A Metallographic Examination of Some Iron Findings with a High Nickel and Cobalt Content. *Antikvariskt Arkiv* 50. Stockholm.
- Hallström, G. 1927. Norrlands bygdeborgar. "Norrlands försvar". Föreningen för Norrlands fasta försvar.
- Hallström, G. 1934. Segersta och Hanebo socknars fornhistoria. *Två hälsingesocknar*. Red: N C Humble. Bollnäs.
- Hallinder, P. & Haglund, K. 1978. Iron currency bars in Sweden. *Excavations at Helgö, V:1*. Eds: K. Lamm & A. Lundström. Stockholm.
- Hjärthner-Holdar, E. 1996. Tre faser av utnyttjande. Arkeologisk undersökning RAÄ 31 Valbo sn, Gästrikland. *Rapport. RAÄ avdelningen för arkeologiska undersökningar UV Uppsala*. Uppsala.
- Killick, D. 1991. The Relevance of Recent African Iron-Smelting Practice to Reconstructions of Prehistoric Smelting Technology. *Recent Trends in Archaeometallurgical Research. MA-SCA Research Papers in Science and Archaeology*. Volume 8, Part 1, 1991. Ed: P.D. Glumac. Philadelphia.
- Larsson, L., Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1997. Magnetite ore in the bloomery process – experiments and archaeological evidence. *Early Ironworking in Europe. Archaeology and Experiment. Abstracts*. Eds: Peter & Susan Crew. *Plas Tan Y Bwlch Occasional Paper No 3*. Plas Tan Y Bwlch.
- Lindblad, C-G. 1988. Hammarede - gammal teknik i skogsmiljö. *Forntida teknik*. Institutet för förhistorisk teknologi. Nr 2. Sveg.
- Magnusson, G. 1994. Järnet i Hälsingland. *Bebyggelsehistorisk tidskrift*, nr 27, Stockholm.
- Nordic Iron Seminar. Archaeology, Technology and Experiment. Experiments and Papers*. July 22-28, 1996. Leire.
- Nørbach, L. C. 1992. *Jernudvindingen i Danmark ca. 100 f. Kr. til ca. 400 e. Kr. Set på baggrund af nogle udvindingspladser og jernudvindingsexperimenter*. Tranbjerg.
- Stenberger, M. 1964. *Det forntida Sverige*. Uppsala 1971.
- Stenvik, L.F. 1996. Fra myrmalm til jern - teknologi med økonomisk overskudd. *SPOR*, Nr 1, 11 Årgang, 21 Hefte. Trondheim.
- Tholander, E. 1971. En teknikers funderingar om Norrlands-järn och Tröndelags-salt i förhistoriskt handelsutbyte. *Fornvännen*. Stockholm.
- Thålin, L. 1973. Notes on the Ancient Iron Currency Bars of Northern Sweden and the Nickel Alloys of Some Archaeological Objects. *Antikvariskt Arkiv* 50. Stockholm.

Bilagor

Terminologi

- *Blåsning*: Benämning på en järnframställningscykel i blästugn.
- *Blästbruk*: Äldre, och på nytt använd term för ”primitiv” och ”lågteknisk” järnhantering.
- *Blästeröppning*: Öppning för luft i blästugns schaktvägg.
- *Blästugn*: Ugn för framställning av blästjärn av myr-, sjö-, jord- eller bergmalm.
- *Boss*: Finkornigt kantigt arkeometallurgiskt material som fastnar på en magnet, exklusive glödskal och sprutslag.
- *Brottyta*: Ojämn flatsida på lerschaktsfragment som spruckit (vanligen i linje med vidjearmeringen) och lossnat från schaktet som ett flak.
- *Chargerings*: Uppsättning/påfyllning av malm och bränsle i blästugnen.
- *Droppslag*: Små, sfäriska slaggskal som bildas i blästugn under process.
- *Forma*: Trattformigt rör av lera, i historisk tid av metall, beläget mellan blästerrör på bälg och blästerfokus i ugnens ställe.
- *Förslagning*: Schaktväggspartier (insidor) varpå smält slag har stelnat.
- *Förglasning*: Delar av leran har smält, ändrat färg (vanligen till svart) och i vissa fall blivit genomskinlig eller glasartad. Förekommer på schaktväggens insida, nära blästerintagen.
- *Glödskal*: Metallglänsande magnetiska skal av järnoxid som uppkommer i sekundärsmidet när järn bearbetas med kraft på ett järnstäd med slägga eller smideshammare.
- *Grop med slag*: En grop utan närmare anläggningsbestämning fylld med slag och ugnrens (jfr *slaggröp*).
- *Grynjärn*: Samma som malmsylt.
- *Gråbränd*: Lera som bränns i syrefattig miljö blir grå.
- *Insida*: Schaktväggsfragment med minst en ytsida, som kan vara förglasad, förslaggad eller som har en buktighet som talar för insida, eller som är rödare på en sida (insidan) än på motstående sida.
- *Lupp*: Smälta som konsoliderats eller blivit omsmält.
- *Magring*: Medel, vanligen kvartssand, barr, hår eller tagel, som leran till schaktet blandas ut med för att den inte ska sprängas av ångtrycket när den blir het.
- *Malmsyilt*: Efter reduktion i ugn kvarvarande material som inte kan karakteriseras som malm, inte som järn eller slag, som har reducerat men inte har järn/slagg-separerats. Är knottrigt/grynigt och magnetiskt. Lämpligt material att sätta upp vid nästa blåsning.
- *Primärsmide*: Inledande förädling av smältan, endera i form av omsmältning eller genom upprepad uppvärmning och kompaktering.
- *Reduktion*: Kallas den process som under tillförsel av luft (egentligen syrgas, O₂) och hetta förmår träkol (eg CO och CO₂) att reducera malm som huvudsakligen består av järnoxid (Fe₂O₃) till järn (Fe) och slag.
- *Rensslag*: Slagg som faller ifrån smältan när den tas ur ugnen eller vid arbetsmomenten kall- och varmensning (jfr *ugnsrens*).
- *Rödbränd*: Lera som bränns i syrerik miljö blir röd.
- *Sekundärsmide*: Uträckning av kompakterat järn och föremålssmide.
- *Skarvkant*: Fog mellan två lerlimpor i schaktväggen. Ibland synlig på lerväggsfragment.
- *Slagggröp*: Under schaktugn liggande grop för uppsamling av slag, det vill säga gropen fylls med slag redan under processens gång (jfr *grop med slag*).
- *Smälta*: Produkt av reduktionsprocessen. Denna järnklump är slaggrig och inte direkt smidbar. Den behöver upparbetas/förädlas först.
- *Sprutslag*: Små, sfäriska slaggskal som bildas flygande i luften under primärsmidets slutfas, när smältan under värltemperatur kompakteras till ett tätt järn.
- *Stearinslag*: Slaggklump som bildas genom att slaggräng läggs till slaggräng. Den erhåller ett utseende som kan associeras till hur rinnande stearin formeras kring foten av ett ljus. Bildas i eller utanför blästugn.
- *Ställe*: Härdrum, det vill säga området där smältan bildas, under blästerintagen men ovanför en eventuell underliggande slagguppsamlingsgrop.
- *Ugnrens*: Material (slag, träkol, infodringsfragment o d) som efter varje blåsning rensas ur ugnen, och kastas i varp, gropar eller på markytan, innan nästa blåsning påbörjas.
- *Uppsättning*: Påfyllning av träkol och/eller malm.

Geoarkeologiskt Laboratorium

Lars-Erik Englund

Allmänt om analyser av arkeometallurgiska material

Järn

Järn framställs i olika kvaliteter för olika ändamål. *Rent järn* (*Fe*, *ferrit*) är relativt mjukt eller som man brukar säga blött. Man blev tidigt medveten om att om järn innehöll kol fick man en produkt som var hårdare och som kunde härddas dvs man fick ett *stål*. Detta har varit en mycket eftertraktad produkt ända fram i våra dagar. Men om järnet innehåller för mycket kol, 1,5-2%, uppstår svårigheter. Järnet är inte längre smidbart, i varje fall inte utan föregående avkolning. Järn med mer än 2% kol kallas *gjutjärn eller tackjärn*. Det finns i huvudsak två sorter gjutjärn, vitt och grått. Gjutjärn används till olika typer av gjutna produkter t ex grytor. Tackjärnet färskas (dvs avkolas) för att användas till olika typer av stålprodukter med olika stålqualiteter. Ett annat ämne som i halter upp till 1% är bra, för t ex eggår, är fosfor (P). Fosfor gör järnet hårt men sprött, vilket innebär att om järnet innehåller för mycket fosfor blir det vad vi kallar kallbräckt och riskerar gå sönder vid låga temperaturer (Crew & Salter 1993). Fosforhalten i kolfritt järn medför att det ferritiska järnet kristalliserar i två olika strukturer med något olika sammansättning. Den ena strukturen är den normala korngrännsformen, den andra, helt utan korngränser återfinns ”ovanpå” ferritstrukturen (Modin & Lagerquist 1978, Hjärthner-Holdar & Larsson 1996; 1997, Salter & Crew 1997; Buchwald & Wivel 1998). Dessa strukturer framträder vid etsning av provet. Fosforinnehållet begränsar också upptaget av kol i järnet. Järnets och dess legeringars hårdhet mäts ofta i Vickershårdhet, HV.

Järnet och dess texturer

Austenit: En form av järn. Rent järn förekommer som austenit mellan 910°C och 1388°C. Under och ovanför dessa temperaturer förekommer järnet som ferrit. Austenit är omagnetiskt och kan lösa ca 2% kol. I legerade stål kan austenit existera i rumstemperatur och dess hårdhet är ca 150 HV. Vid avsvälning urskiljer austeniten vid vissa temperaturer ferrit eller cementit beroende på kolhalten och ändrar sammansättning vid 723°C där resten av austeniten omvandlas till perlit.

Cementit: En förening av järn och kol (Fe_3C). Huvuddelen av stålets kolhalt föreligger som cementit då ferrit löser mycket lite kol. *Cementitlameller* är tunna skivor av cementit som vanligen förekommer i perlit. *Korngränscementit* är cementit utskild i austenitens korngränser före perlitbildningen vid den eutektoida punkten (se eutektoid) 723°C i övareutektoidiska stål (över 0,8% kol). Korngränscementit verkar förspödande.

Ferrit: Järn (Fe) med ett kubiskt rymdcentrerat atomgitter (atomgitter = regelbundet arrangemang av atomer), dvs med en järnatom i vardera hörnet och en i centrum på kuben. Rent järn förekommer som ferrit (-järn) upp till 910°C där det omvandlas till austenit. Under 768°C är ferrit magnetiskt. olegerad ferrit har en hårdhet av ca 90 HV vid rumstemperatur. *Korngränsferrit* är ferrit utskild i austenitkorngränserna före perlitbildningen vid eutektoida temperaturen, 723°C, i undereutektoidiska stål, dvs stål med en kolhalt under 0,8%.

Järnfosfid: En förening mellan järn och fosfor (Fe_3P). Den är mycket hård men samtidigt spröd - fosforrikt järn är kallbräckt, vilket t ex gör att fosforhalter på 1% P och däröver gör det omöjligt att smida.

Perlit: En struktur bildad vid den eutektoida temperaturen (723°C) i en järn-kol-legering. Perliten består omväxlande av lameller av ferrit och cementit som samtidigt skilts ut ur austeniten.

Stål: Produkten är smidbar och är en järn-kol-legering med mindre än 2% kol.

Eutektoid: En intim blandning av två eller flera kristallina faser i bestämda proportioner samtidigt utskilda ur en fast lösning. *Eutektoid kolhalt* är kolhalten för perlit i jämvikt, vilket i olegerade stål är 0,8%. Den *eutektoida punkten* är den punkt i ett fasdiagram som anger den bestämda temperaturen där reaktionen äger rum samt sammansättningen på eutektoiden. I järn-kol-systemet ligger den eutektoida punkten vid 0,8% kol och 723°C. Undereutektoidiskt stål har lägre kolhalt än 0,8% och övareutektoidiskt stål har en högre kolhalt än 0,8%.

Widmanstättenferrit: Ferrit som under relativt hastig svalning urskiljs som skivor som genomkorsar austeniten. Bildningen gynnas av grov austenitkornstorlek. Widmanstättenstruktur kan uppstå i både under- och övareutektoidiska stål. De båda typerna kan dock skiljas åt.

Smidesmetoder

Vällning: Sammanfogning av järnstycken genom smidning. Som hjälpmedel kan användas t ex vällsand, huvudsakligen kvartssand (SiO_2). *Vällsömmar* är mer eller mindre synliga sömmar mellan järnstycken som vällts samman.

Härdning: Upphettning till austenitområdet (se austenit) med en påföljande snabb avkylning i t ex vatten. Erhållen struktur kallas *martensit*. Den är hård och spröd utom vid låga kolhalter. Martensitomvandlingen är i stora delar inte

tidsbunden utan mängden bildad martensit beror, för en given austenitsammansättning, istället på den temperatur till vilken kylningen skett.

Anlöpning: Värmebehandling av härdat stål för att moderera dess hållfasthetsegenskaper. Anlöpning innebär att stålets sprödhet minskar men att dess seghet ökar.

Okulär klassificering av slagger

Slagger är biprodukter från olika slags metallurgisk verksamhet. Reduktionslagger bildas vid reducering av malm till metall. Reduktionslagger, d v s slagger som uppstår vid t ex framställning av järn har vanligen en densitet på ca 3 kg/dm³, de har en tämligen homogen sammansättning samt visar flytstrukturer t ex som rinnande stearin (typiska för t ex Bergslagens stenrams ugnar). Ugnar med anordning för slaggtappning kan ge lättflutna tappslaggar. Många ugnar har infodrats med lera vilken är bränd, delvis smält samt vanligen förslaggad genom inblandning av reduktionslaggar.

Smidesprocessen kan underdelas i primärsmide (omsmältning och/eller rensning av smältan från slaggen) och sekundärsmide (tillverkning av föremål). Karakteristiskt för plankonvexa primärsmidesskällor är att de är homogena i sammansättning och temperaturprofil. Karakteristiskt för sekundärsmidesskällor är att de är heterogent skiktade, har sand/grus och kol främst i bottenpartiet, samt att de oftast känns lättare än reduktionslaggerna. Slagger från sekundärsmidet är genom inblandning av vällsand oftast mycket sura i sina sammansättningar samt glasiga och således vanligen lätta att skilja från reduktionslaggar.

Slaggtyper

Reduktionslaggar: Slagg som bildas i samband med smältning av malm i ugn.

Primärsmidesslaggar: Slagg som i järnsmidet bildas under den inledande konsolideringsfasen.

Sekundärsmidesslaggar: Slagg som i järnsmidet bildas under uträkningsfasen och under föremålssmidet.

Glödskal: Oftast starkt magnetiska oxidskal som bildas vid smidning. Vissa typer brukar också kallas hammarskal.

Sprutslaggar: Små, ca 5 mm stora, sfäriska, ihåliga, magnetiska slagggulor som bildas flygande i luften när smältan/luppen välls ihop.

Stearinslaggar: Slagg som runnit neråt i strängar och där sträng lagts till sträng på samma sätt som stearin stelnar kring foten av ett ljus.

Slaggers mineralogiska sammansättning

De flesta slaggar består av *glas* (med varierande sammansättning) samt en eller flera av följande kristallina faser:

Oliviner, silikatmineral med den allmänna formeln A_2SiO_4 , där A oftast är järn (mineralet heter då fayalit, det vanligaste mineralet i järnblästerslaggar samt kopparslaggar), magnesium (forsterit, förekommer i masugnsslaggar) eller mangan (tefroit). Mangan ingår också i fayalit. Vissa slaggar innehåller kalciumrika oliviner, främst kirschsteinit $CaFeSiO_4$, som sent bildat fas. Olivinerna uppträder oftast som väl utkristalliserade faser.

Wüstit, FeO, är vanligt i blästerslaggar. Fasen bildas vid reduktion av järnoxider (från hematit Fe_2O_3 via magnetit Fe_3O_4 , eller direkt från magnetit) och reduceras själv till metalliskt järn. Wüstit bildar oftast droppformade, dendritiska (=”trädliska”) kristaller. Sammansättningen kan variera från $FeO_{1,00}$ till $FeO_{1,16}$; förutom järn kan mangan och smärre mängder titan eller aluminium ingå.

Magnetit, Fe_3O_4 , är ett primärt järnmineral och bildar huvudbeståndsdelen i de svenska bergmalmerna (”svartmalm”). Jämfört med wüstit kännetecknar magnetit högre temperaturer och/eller högre syretryck. Den förekommer således i masugnsslaggar (högre temperatur) samt smidesslaggar (högre syretryck). Magnetit uppträder oftast som oktaedriska kristaller.

Hercynit, $FeAl_2O_4$, är liksom magnetit ett spinellmineral som bildar väl formade oktaedriska kristaller. Dessutom uppträder hercynit sammanvuxen med fayalit. Hercyniten indikerar relativt höga aluminiumhalter (t ex inblandning av lerklining i slaggen).

Pyroxener är en mineralgrupp med den allmänna formeln $A_2Si_2O_6$, varvid A = Fe, Mg, Mn, Ca. Pyroxener indikerar överskott på kiselsyra och är typiska för masugnsslaggar. De kan även vara ett tecken på att flussning med kvartssand har ägt rum.

Leucit är ett kaliumrikt aluminiumsilikat med formeln $KAlSi_3O_8$ som indikerar alkaliöverskott.

Metaller, t ex metalliskt järn eller koppar, uppträder ofta som små droppar i järn- respektive kopparslaggar.

Limonit består av bruna, amorfa järnhydroxider med varierande sammansättning. Limoniten är huvudbeståndsdel i t ex sjö- eller myrmalm samt i ”rost”. Den senare bildningen är alltså sekundär.

Det inbördes förhållandet mellan olika faser ger information om olika kristallisationsförlopp, medan kristallstorleken är ett tecken på avsvalningshastigheten. För att beskriva detta används några geologiska (jfr TNC86) och kemiska begrepp:

Dendrit beskriver ett mineral som kristalliserat i ormbunks- eller trädliknande mönster. I slagger är wüstit vanligtvis *dendritiskt* utbildad.

Euhedral beskriver ett mineral med väl utbildade kristallytor. Är endast några kristallytor utbildade talar man om *subhedral*, utan kristallytor om *anhedral*.

Jämvikt är i dagligt tal ett stabilt tillstånd. Verklig jämvikt föreligger när ett (kemiskt) system har nått ett tillstånd från vilket det inte har någon tendens att ändra sig (Hägg 1964, s. 45).

Kristallit är en mycket liten (mikroskopisk till submikroskopisk) kristall.

Textur är en bergarts eller en slaggs mikroskopiska utseende och egenskap. Exempel på texturella drag är kornstorlek, kornform, kristallform, orientering, kristallinitet och porositet.

Slaggers kemiska sammansättning

Under reduktionsprocessen - t ex järnproduktionen - råder betingelser som närmar sig jämvikt. Detta återspeglas i relativt homogena sammansättningar hos såväl glas som kristaller, frånvaro av zonerings och dylikt. Bristande eller saknad jämvikt yttrar sig i starkt varierande sammansättningar, även inom en kristallindivid (dvs zonerings eller överväxning). Detta indikerar starkt växlande temperaturbetingelser och/eller relativt kortvariga processer, t ex som vid smide eller gjutning.

Som komplement till petrografen, dvs den mikroskopiska undersökningen, utförs rutinmässigt *mikrosondanalyser*. På detta sätt får man kvantitativa kemiska data över sammansättningen av glaserna och de olika kristallina faserna. Analyserna ger en detaljerad inblick i kristallisationsförlopp samt upplysning om jämviktstillstånd infunnit sig eller inte. Under jämviktsbetingelser fördelar sig t ex järn, mangan och magnesium mellan utkristalliserad olivin och glassmältan på ett lagbundet sätt. Fördelningen är beroende på rådande temperatur (= jämviktstemperatur), som kan beräknas för olivin-glas-par enligt Leeman & Scheidegger (1977; se även Hjärthner-Holdar 1993:113f). En förutsättning är att nödvändig tid för att uppnå jämvikt funnits. Denna tid kan variera från flera timmar till några dagar - ju lägre temperatur desto längre tidsfaktor.

Enligt Leeman & Scheidegger (1977) kan man anta att jämvikt rått vid kristallisationen om de tre beräknade temperaturerna inte skiljer sig åt mer än 100°C. olivin-glastermometern bygger på en sammansättning av basaltiskt bergartsmaterial som alltså skiljer sig i sammansättning från slaggenas grundmassa. Det har ändå påvisats att beräknade kristallisationstemperaturer för jämviktsfördelningen av järn och mangan kan tillämpas (Kresten, Larsson & Hjärthner-Holdar 1996) för att skilja reduktionsslagger från smidesslagger under förutsättning att ett tillräckligt antal analyser utförts.

Totalkemiska analyser används huvudsakligen för att bedöma vilken malmtyp som använts, samt för att granska den totala massbalansen under processen. Ändringar i den totalkemiska sammansättningen kan härledas från olika metallurgiska processer. Vid reduktionen av en malm extraheras metalliskt järn, vilket innebär att samtliga element som inte ingår i denna metallfas anrikas i slaggen relativt till malmen. Slaggen kan i varierande grad tillföras material från ugnen (t ex smält lera), från träkolsaskan och från flussmedel, om sådant använts. Reduktionsslaggen kan således ses som en koncentration av de element som inte extraheras tillsammans med järnet, samt yttre tillskott.

Under smidet sker en rad olika förändringar. Generellt är dock att materialet, dvs såväl järnet som innesluten eller omgivande reduktionsslagg, oxideras. Därtill kommer differentiationsprocesser genom att smält slagg pressas ut ur järnet, medan kristalliserade faser förväntas att bli kvar. Resorption av träkolsaska samt av fodringmaterialet till ässjan förväntas äga rum. De mest dramatiska förändringarna i den kemiska sammansättningen sker dock när vällsand kommer till användning. Sammantaget kan smidesslaggen således förväntas vara produkten av oxidations- och utspädningsprocesser.

Normativa beräkningar

Beräkningen av normativa komponenter utifrån en kemisk analys innebär att viktsprocenten av oxiderna som ges i analysen omvandlas till (beräknade) mineralfaser, vilka oftast ges i molprocent, mer sällan i viktsprocent. Därmed underlättas bl a jämförelse med resultaten från de petrografiska analyserna.

Beräkningsmetoden är sedan länge etablerad inom geologin (Cross m fl, 1903). För förhistoriska slaggar har metoden introducerats av Kresten & Serning (1983), med senare vidareutveckling (Kresten 1984). Den har sedan dess modifierats något för att så mycket som möjligt vara anpassad till förhistoriska slaggars observerade mineralogiska sammansättningar. Därutöver har anpassning skett till såväl observerade kristallisationsföljder av slaggar samt kristallisationssekvenser som kan förväntas från geokemiska principer.

Fysikaliska parametrar

Totalkemiska analyser kan användas för beräkning av fysikaliska egenskaper såsom viskositet (Bottinga & Weill 1972; Shaw 1972) och densitet (Bottinga & Weill 1970; Bottinga, Weill & Richet 1982; diskussion av Hall 1987 p. 67 ff). I samband med normativa beräkningar utförs även beräkningar av viskositet (Shaw 1972) och densitet (Hall 1987), båda parametrar gällande för en temperatur på 1250°C dvs flytande tillstånd. Till skillnad mot t ex vulkaniska lavabergarter vilkas innehåll av lösta gaser förorsakar att beräkningar blir endast approximativa (Hall 1987) är slaggar relativt ”torra” produkter och förväntas ge mer pålitliga resultat.

Yttrium (Y) och sällsynta jordarter (Rare Earth Elements, REE): lantan (La)-lutetium (Lu) är namnet till trots mycket vanliga spårelement. De förekommer som ersättare för huvudelementen (t ex kalcium, järn, magnesium) i bergartsbildande mineral samt bildar egna mineral, främst i pegmatitmiljö. Man skiljer mellan ”lätta sällsynta jordarter” dvs La-Eu som är relativt stora joner, och ”tungta sällsynta jordarter” dvs gadolinium (Gd)-Lu samt Y som är mindre joner. Valenstalet är oftast tre, men cerium (Ce) uppträder fyrvärt och europium (Eu) tvåvärt. I slaggar förväntas elementen förekomma både i glas och utkristalliserade silikatfaser (olivin, pyroxen).

Utvärderingen av sällsynta jordarters fördelning i geologiska material sker konventionellt genom att jämföra s k kondritnormaliserade kurvor. Dessa erhålls genom att dividera halten av varje enskilt element med halten på motsvarande element i en kondrit dvs stenmeteorit som används som referens. Denna metod skapades dels för att eliminera effekten av Oddo-Harkins regel, nämligen att grundämnen med jämna atomnummer är mer frekventa än de med udda atomnummer, dels för att meteoriter är s k ”primitivt material” i meningen att de inte deltagit i senare omsmältning-, omvandlings- eller vittringsprocesser. För normaliseringen har vi valt ”Chondrite CI average” (Evensen, Hamilton & O’Nions 1978).

Variationsdiagram används för att grafiskt åskådliggöra variationen i huvud- och spårelementhalterna. Liksom för sällsynta jordarter används även här normaliseringsmetoden, dock med referensslaggen W-25:R från Gryssen (Kresten & Hjärthner-Holdar 1994) som referens. Elementen är ordnade på så sätt att de som är mest benägna att ingå i smältan återfinns på diagrammets vänstra sida, medan elementen som är benägna att ingå i metallfasen återfinns mot höger.

Slaggers magnetiska egenskaper

Alla prover testas med handmagnet och magnetiseringsgraden återges i en skala från omagnetisk till starkt magnetisk. Denna karaktäristik blir givetvis något subjektiv. Stundom är de magnetiska egenskaperna inte homogent fördelade inom ett slaggstycke. I dessa fall återges variationerna samt en uppskattning av fördelningen.

Referenser

- Bottinga, Y. & Weill, D.F. 1970. Densities of liquid silicate systems calculated from partial molar volumes of oxide components. *American Journal of Science* 269, 169-182.
- Bottinga, Y. & Weill, D.F. 1972. The viscosity of magmatic silicate liquids: a model for calculation. *American Journal of Science* 272, 438-475.
- Bottinga, Y., Weill, D.F. & Richet, P. 1982. Density calculations for silicate liquids. I. Revised method for aluminosilicate compositions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 909-919.
- Buchwald, V.F. & Wivel, H. 1998. Slag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. *Materials Characterization* 40, 73-96.
- Crew, P. & Salter, C. 1993. Currency bars with welded tips. s. 11-30 i Espelund, A. (edit.) ”*Bloomery ironmaking during 2000 years. Seminar in Budalen 1991.*” Trondheim.
- Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V. & Washington, H.S. 1903. *Quantitative classification of igneous rocks*. University of Chicago Press.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J. & O’Nions, R.K. 1978. Rare-earth element abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 1199-1212.
- Hall, A. 1987. *Igneous Petrology*. Longman Scientific & Technical, New York. 573 pp.
- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Järnets och järnmetallurgins introduktion i Sverige. Med bidrag av Peter Kresten och Anders Lindahl. *Aun* 16, Uppsala.

- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Järnhantering i det medeltida Söderköping (1130-1400) - analys av ämnesjärn och slagger, Östergötland, Söderköping, RAÄ14. Analysrapport 22-1996, Geoarkeologiskt Laboratorium, UV Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1997. Ämnes- och stångjärn från kv Vågtorget - en arkeometallurgisk analys, Västmanland, Köping, RAÄ148. Analysrapport 35-1997, Geoarkeologiskt Laboratorium, UV Uppsala.
- Hägg, G. 1964. *Allmän och oorganisk kemi*. Tredje upplagan. Almqvist & Wiksell, Uppsala.
- Kresten, P. 1984. The mineralogy and chemistry of selected ancient iron slags from Dalarna, Sweden. With contributions by Inga Serning. *Jernkontorets forskning H29*. Stockholm.
- Kresten, P. & Serning, I. 1983. The Calculation of Normative Constituents from the Chemical Analyses of Ancient Slags. - *Jernkontorets Forskning H25*. Stockholm.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1994. First Compilation of Analytical Data on the Swedish Ancient Iron Slag Standard Reference Material W-25:R. Manuskript inlämnat till *Journal of the Historical Metallurgy Society*.
- Kresten, P., Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1996. Thermometry of ancient iron slags from Sweden, and of vitrified material from various hill-forts in western Europe. *Research Report R-9601*, Geoarchaeological Laboratory, UV-Uppsala.
- Leeman, W.P. & Scheidegger, K.F. 1977. Olivine/liquid distribution coefficients and a test for crystal-liquid equilibrium. *Earth and Planetary Science Letters* 35, 247-257.
- Modin, S. & Lagerquist, M. 1978. The metallographic examinations of rod-shaped blanks. I: Lamm, K. & Lundström, A. (edit.) *Excavations at Helgö V:1 Workshop Part II*, 110-150. Kungl. vitterhets historie och antikvitets akademien, Stockholm.
- Salter, C. & Crew, P. 1997. High phosphorus steel from experimentally smelted bog-iron ore. I: Crew, P & S (edit.) *Early Ironworking in Europe archaeology and experiment*, 83-84. Abstracts. Plas Tan y Bwlch.
- Shaw, H.R. 1972. Viscosities of magmatic silicate liquids: An empirical method of prediction. *American Journal of Science* 272, 870-893.
- TNC 86, 1988. Geologisk ordlista. glossary of Geology. *Tekniska nomenklaturcentralens publikationer nr 86*. Stockholm.

Geoarkeologiskt Laboratorium

Lars-Erik Englund, Eva Hjärthner-Holdar, Peter Kresten, Lena Grandin

Rapporter från Geoarkeologiskt Laboratorium

Analysrapporter

- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1993. Dalarna, Falu stad, kvarteret Hyttkammaren, RAÄ 68. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1993*. Uppsala.
- Kresten, P. 1993. Undersökning av slagger från Faxeholm, Hs. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1993*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1993. Gylle - analys av slaggmaterial. RAÄ 366 m fl, Stora Tuna socken, Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1993*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Analys av ringformat ämnesjärn från Åselby, RAÄ 105, Stora Tuna sn., Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1993*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1993. Arkeometallurgi, E20, Sandstubbetorp-Lybbby. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1993*. Uppsala.
- Kresten, P. 1993. Fornborgen vid Vällnora, RAÄ 103, Knutby sn., Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-1993*. Uppsala.
-
- Kresten, P. & Holm, J. 1994. Kvartsavslag. Svealandsbanan, Stadsskogen. Strängnäs landsförsamling, Södermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Vittrifierat material. Runsa m fl fornborgar, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Brynen. Södermanland, Härads Kumla sn., RAÄ 82. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1994. Slagger och metaller. Södermanland, Härads Kumla sn., RAÄ 82. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Kvarnstenar. Uppland, Fresta sn., Sanda, RAÄ 147. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. & Elfwendal, M. 1994. Malung - en glömd kvarnstensmetropol. Dalarna, Malungs sn., Kvarnberget RAÄ 589. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Stenmaterial från Sigtuna. En preliminär genomgång. Uppland, Sigtuna stad, Kv Trädgårdsmästaren 9 & 10. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1994. Slagger från Grönsta. Södermanland, Eskilstuna snr, RAÄ 517. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Silver från Vattholma. Uppland, Lena sn., RAÄ 80. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1994. Slagger från Valsgårde. Uppland, Gamla Uppsala sn., Fullerö 17:13. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1994*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1994. Slagger från E18 Köping. Västmanland, Köping stad, Skoftesta 4:1, RAÄ 66, RAÄ 68. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Frebergs silvergruva. Västmanland, Sala stad, RAÄ 43. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. & Kresten, F. 1994. Faxeholm. Magnetometri. Hälsingland, Söderhamn, RAÄ 4. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-1994*. Uppsala.
- Kresten, P. 1994. Kismalm från Sigtuna. Sammansättning och möjligt ursprung. Uppland, Sigtuna stad, Kv Trädgårdsmästaren 9 & 10. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1994*. Uppsala.
-
- Kresten, P. 1995. Stenföremål från kv Trädgården. Uppland, Uppsala stad. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. 1995. Slagger från Gotland. Petrografi och kemisk sammansättning. Gotland, Visby stad m fl. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1995*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1995. Järnföremål och slagg från smedjan i Eknö. Västmanland, Björskogs sn., RAÄ 46. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Gjuterifynd från kv Pantern. Uppland, Uppsala stad, Kv Pantern. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1995*. Uppsala.

- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1995. Undersökning av kalk. Uppland, Säby Norrsunda sn., RAÄ 167. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Stenfynd från kv Disa. Uppland, Uppsala stad, Kv Disa. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-1995*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Slagger från Dala Airport. Dalarna, St. Tuna sn., RAÄ 382. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-1995*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Slagger från Vereide, Gloppen kommune, Sogn og Fjordane, Norge. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8A-1995*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Smält material från Ljøsne. Lærdal kommune, Sogn og Fjordane, Norge. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8B-1995*. Uppsala.
- Larsson, L. & Kresten, P. 1995. Koppar från kvarteret Vågtorget. Västmanland, Köping, RAÄ 148. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Slagger från kvarteret Trädgården. Uppland, Uppsala stad, RAÄ 88. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Glasig slagg från Tallboda. Östergötland, Rystads sn., RAÄ 258. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. 1995. Stenfynd från stadsgrävningar. Skåne, Lund, Kv Tegné, Kv St. Mårten. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-1995*. Uppsala.
- Larsson, L. & Kresten, P. 1995. Granater från Eknö. Västmanland, Björkogs sn., RAÄ 46. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. 1995. Stenfynd från Stolptorp. Uppland, Fröslunda sn., RAÄ 30. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Harryson, H. 1995. Analys av guldföremål. Uppland, Sigtuna, Kv Professorn, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-1995*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P. & Larsson, L. 1995. Ämnesjärn och slagger från kvarteret Trädgårdsmästaren - en förstudie. Uppland, Sigtuna stad, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-1995*. Uppsala.
-
- Kresten, P., Larsson, L. & Larsson, L.-I. 1996. Kvarnstenar från Malung samt en inventering av Kvarnberget. Dalarna, Malung, RAÄ 589. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Stenfynd från det medeltida Söderköping. Östergötland, Söderköping, RAÄ 14. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1996*. Uppsala. (För närvarande ej tillgänglig.)
- Kresten, P. 1996. Ett Eidsborgsbryne från Nyckelby. Uppland, Övergrans sn., RAÄ 22. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1996*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Analys av slagger och byggnadsmaterial från järnframställning och smide. Rosendal, Södermanland, Härads sn., RAÄ 36. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1996*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1996. Malm och slagg från Gånarp 6:1, Skåne, Tåstarp sn. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Stenföremål från Sigtuna. I: Rapport. Uppland, Sigtuna, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6a-1996*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. & Larsson, L. & Englund, L.-E. 1996. Stenföremål från Sigtuna. II: Katalog. Uppland, Sigtuna, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6b-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Smält material från en vapengrav och en boplats. Bohuslän, Foss sn., RAÄ 209 och 416. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Analys av stenmaterial från Kyrkheddinge 2:19. Skåne, Kyrkheddinge sn., Lund KM 30615. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Analys av stenmaterial från Bangårdsgatan. Uppland, Uppsala, RAÄ 88. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Analys av stenmaterial från kvarteret Pantern. Uppland, Uppsala stad, RAÄ 88. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1996*. Uppsala.
- Kresten, P., Larsson, L., Hjärthner-Holdar, E. & Englund, L.-E. 1996. Slagger från Riksväg 70 vid Leksand. Dalarna, Leksands sn. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Analys av stenmaterial från Visby. Gotland, Visby stad, RAÄ 107. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Stenfynd från Riksväg 70 vid Leksand. Dalarna, Leksands sn. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Petrografisk undersökning av kvarnstenar från Axmar. Gästrikland, Hamrånge sn. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1996*. Uppsala.

- Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Järnhanteringen på bopplatsen vid Lappnåset - analys av slagger och järn. Ångermanland, Nora sn., RAÄ 5. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1996. Kemisk analys av fynd 1910b från kv Trädgårdsmästaren. Uppland, Sigtuna, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-1996*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1996. Järnhantering på bopplatsen vid Bjärsgård - okulär klassificering av järn, slagg och ugnsrester. Skåne, Östra Ljungby, RAÄ oregistrerad. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 17-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1996. En bältesring samt stenfynd från Apalle. Uppland, Övergrans sn., RAÄ 260. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 18-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Stenfynd från Vadstena slott. Östergötland, Vadstena, RAÄ 21. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 19-1996*. Uppsala.
- Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Rester efter järn- och metallhantering från brons- och järnålder. Pryssgården, Östergötland, Ö. Eneby sn., RAÄ 166/167. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 20-1996*. Uppsala.
- Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Järnhantering på bopplatsen vid Albertsro under äldre järnålder. Albertsro, Södermanland, Åker sn., RAÄ 267:1-4. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 21-1996*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1996. Järnhantering i det medeltida Söderköping (1130-1400) - analys av ämnesjärn och slagger. Söderköping RAÄ 14, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 22-1996*. Uppsala. (Skall ingå i doktorsavhandling som beräknas utkomma 1998-1999.)
- Kresten, P. 1996. Kvarnstenar från Lund. Skåne, Lund. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 23-1996*. Uppsala. (För närvarande ej tillgänglig.)
- Kresten, P. 1996. Kvarnstenar i Roskilde museum. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 24-1996*. Uppsala.
-
- Kresten, P. 1997. Skörbränd sten från Mörby och Hulje (E4 syd). Östergötland, Hogstad sn., RAÄ 168, Mjölby sn., RAÄ 234-236. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Skörbränd sten från Sneden. Uppland, Litslena sn., RAÄ 328. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1997. Röntgendiffraktionsanalys av skifferprover för identifikation av arkeologiska skifferfynd. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1997*. Uppsala. (För närvarande ej tillgänglig.)
- Larsson, L., Hjärthner-Holdar, E. & Englund, L-E. 1997. Malmer och slagg från Mörby. Östergötland, Hogstad sn., RAÄ 168. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. En talkpärla från Sneden. Uppland, Litslena sn., RAÄ 238. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1997*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Okulär klassificering av arkeometallurgiskt material. Närke, Kärsta, Lillkyrka sn., RAÄ nr: 183, 200. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Tenn från bopplatsen vid Valsgårde. Uppland. Gamla Uppsala socken. Raä nr 295. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Slag from Ristiina. Finland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-1997*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1997. Järnhantering i Östra Ringarp. Skåne. Örkekljunga. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av likarmade spännen från Valsgårde. Uppland. Gamla Uppsala socken. Raä nr 295. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1997. Stenföremål från Gårdsjö. Hälsingland. Skogs socken. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av slagger från Hinkkasaari. Vammala. Finland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av ”lerklining” från Valsgårde. Uppland. Gamla Uppsala socken. Raä nr 295. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-1997*. Uppsala.
- Kresten, P., Larsson, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Analys av slagger från Aneby Gård. Småland. Byarums socken. Dnr 489/96. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1997*. Uppsala.
- Kresten, P., Larsson, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Analys av slagger och järn från Södra Duved. Småland. Byarums socken. Dnr 489/96. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-1997*. Uppsala.
- Kresten, P., Larsson, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Analys av slagger och järn från kvarteret Bofinken. Småland. Eksjö stad och socken. Dnr 297/92. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-1997*. Uppsala.

- Kresten, P., Larsson, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Analys av slagger från Torsvik. Småland. Barnarps socken. Dnr 262/94. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 17-1997*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1997. Järnhantering i Maglaby. Skåne. Kvidinge. Raä nr 132. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 18-1997*. Uppsala.
- Larsson, L. 1997. Petrografisk analys av slaggmagring i keramik från ett gravfynd. Uppland. Gamla Uppsala sn. Gamla Uppsala 93:3. Dnr 421-3513-1997. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 19-1997*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Larsson, L. 1997. Järnframställning i Bromölla. Skåne. Ivetofta socken. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 20-1997*. Uppsala.
- Kresten, P., Larsson, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1997. Smide och alkemi? Slagger och metaller från Vadstena. Östergötland. Vadstena. Raä nr 21. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 21-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1997. Järnframställning och smide under sen bronsålder och tidig järnålder i Åbrunna. Södermanland. Österhaninge socken. Raä nr 201. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 22-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av smält material från Forsbäck. Vallda sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 23-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Stenfynd från Söderköping. Östergötland, Söderköping RAÄ 14. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 24-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Fynd från stenåldersboplatser. Vittersjö RAÄ 65, Ockelbo sn; Gårdsjön RAÄ 170, Skog sn; Vedmora RAÄ 145, Enånger sn; Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 25-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Stenfynd från det medeltida Söderköping. Revidering av analysrapport 2-1996. Östergötland, Söderköping, RAÄ 14. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 26-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av snördekorerad keramik från Apalle, RAÄ 260, Övergrans sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 27-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P., Larsson, L. & Lindahl, A. 1997. Järnframställning och smide på Närkeslätten under 2500 år. Arkeometallurgisk undersökning av lämningar utmed nya sträckningen av E20 i Viby sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 28-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1997. Provenance of Swedish slate artefacts. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 29-1997*. Uppsala.
- Larsson, L. 1997. Slaggmagrad keramik från ett gravfynd - en arkeometallurgisk analys. Uppland. Gamla Uppsala sn. Gamla Uppsala 93:3. Dnr 421-4045-1997. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 30-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1997. Analys av "lertätningar" från Asine, Peleponnesos, Grekland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 31-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1997. Analyses of "clay putty" from Asine, Peleponnese, Greece. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 31a-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1997. Slagg (30341) från S:t Olofs hamn på Drakön. Idenors sn. Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 32-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av vitrifierat material från borgen i Örekelljunga, RAÄ 67, Örekelljunga sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 33-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P., Bergold, H. & Sandberg, F. 1997. En förmodad hyttbacke på "Leret" i Falun. Gruvrandellen. RAÄ 109, Falu stad, Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 34-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1997. Ämnes- och stångjärn från kv Vågtorget - en arkeometallurgisk analys. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 35-1997*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1997. Medeltida järnhantverk i kv Trädgårdsmästaren, Sigtuna - en arkeometallurgisk analys, Uppland, Sigtuna stad, RAÄ 195. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 36-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Undersökning av kvarnstensfragment från Stora Torget, Enköping. RAÄ 26, Enköpings stad, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 37-1997*. Uppsala.
-
- Englund, L-E., Kresten, P., Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Bestämning av provmaterial. Östra Karups sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1998. Ett skifferbryne från S:t Olofs hamn. Idenors sn, Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Analys av metallfynd. RAÄ 311, Bälinge sn, RAÄ 295, Valsgårde sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Termometri av hårdarna på glumslövs backar, Skåne. LUHM nr 30899. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1998*. Uppsala.

- Kresten, P. & Goedicke, C. 1998. Termometri och TL-datering av stenmaterial från Järnstad, Raä 73, Stora Åbysn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Goedicke, C. 1998. Termometri och TL-datering av härdar från Storlyckan, Raä 275, Väderstads sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-1998*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1998. Datering av järnframställningslokaler i Röda Jorden och Grimsöområdet. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1998. Stenmaterial från Mörby 5:1, Raä 473, S Turinge sn, Södermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Stenmaterial från kvarteret Trädgården (1994), Uppsala, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Magnetometri av en järnframställningsplats, Eket 1:9, Söderåkra sn, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1998*. Uppsala.
- Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Smedjan på Pörnnullbacken – En arkeometallurgisk analys. Vörå sn, Österbotten, Finland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Magnetometri av en järnframställningsplats, Stomskil 1:1, Lillkyrka sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-1998*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Larsson, L. 1998. Gropschaktugnar i Järnstad – en arkeologisk och analytisk studie, Stora Åbysn, RAÄ 159, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-1998*. Uppsala.
- Larsson, L. 1998. Slagger från Asine – en arkeometallurgisk analys, Peleponnesos, Grekland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1998*. Uppsala.
- Larsson, L. & Englund, L-E. 1998. Arkeometallurgiskt material från Östra Bölan. En tolkning av kemiska analyser, RAÄ 146, Enångers sn, Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Inventering av kvartsförekomster, Gärdselbäcken, Arboga lfg, Västmanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Geotermometri av stenmaterial, Eskilstorp 9:7, Östra Karups sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 17-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Englund, L-E. 1998. Geokemi av myrmalmsprov, Eskilstorp 9:7, Östra Karups sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 18-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Slagg från väg 23, Hässleholm, Stoby sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 19-1998*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Kresten, P. 1998. Arkeometallurgiskt material från Skåne – okulär klassificering av insamlade prover från undersökningar utmed E4 och väg 24. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 20-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Bränd lera från Eldvalla, Glanshammars sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 21-1998*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1998. Arkeometallurgiskt material från Vittene – provurval och okulär klassificering, Norra Björke sn, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 22-1998*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1998. ¹⁴C-analyser av kolprover från Röda Jordenområdet, RAÄ 366, 371, 372 och 380 i Ramsbergs socken, RAÄ 314, Skinnskattebergs socken, Västmanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 23-1998*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1998. Brända lerbitar från Kärsta – en okulär materialgenomgång, Lillkyrka sn, RAÄ nr 200, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 24-1998*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Larsson, L. 1998. Arkeometallurgiskt material från kv Glaskulan, okulär klassificering och metallografisk analys, Linköping, RAÄ 162, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 25-1998*. Uppsala.
- Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Gjutform från Olaus Petri, Örebro, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 26-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Larsson, L. 1998. Geokemi av malmprov och geotermometri av ässjevägg, Vörå sn, Österbotten, Finland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 27-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Skafthålsyxor från Uppland, Närke, Södermanland och Västergötland: Bestämning av bergartsmaterialen. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 28-1998*. Uppsala.
-
- Englund, L-E. & Larsson, L. 1999. Romartida järnframställning i Stomskil – en arkeologisk och analytisk studie. Lillkyrka sn, Raä 219, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1999*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Larsson, L., Englund, L-E., Lamm, K. & Stilborg, O. 1999. Järn- och metallhantering vid en stormannagård under yngre järnålder och tidig medeltid. Husby, Glanshammars sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1999*. Uppsala.
- Larsson, L., Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Stilborg, O. 1999. Arkeometallurgisk analys av slagger och järn från järnhantverket i Binga. Hossmo sn, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1999*. Uppsala.

- Larsson, L. 1999. Ämnesjärn från smedjan i kv Dalkarlen – en metallografisk analys, Norrköping, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 4-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. & Goedicke, C. 1999. Geotermometri och termoluminiscensdatering av skörbränd stenmaterial från Abbetorp 1:10, RAÄ 288 m fl, Rinna sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 5-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1999. Brynen från Åby 23:1, Ivetofta sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 6-1999*. Uppsala.
- Larsson, L. & Englund, L-E. 1999. Järnframställning och smide i Ivetofta sn – en arkeometallurgisk analys, Väg 116, Långmossavägen, V2083/Åby 23:1, Ivetofta sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 7-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Stenfynd från Ångermanland och Medelpad. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 8-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Analys av glasskrapan från Berthåga kyrkogård, Dnr 421-2346-1995, Bondkyrko sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 9-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Termometri av skörbränd sten från Väg 23 vid Hässleholm, Stoby sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 10-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg- och metallfynd från Hishult sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 11-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E., Grandin, L., Hjärthner-Holdar, E., Kresten, P. & Stilborg, O. 1999. Förromersk järnframställning i Söderåkra – en arkeometallurgisk undersökning. Söderåkra sn, RAÄ 342, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 12-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Järn- och kopparhantering i kv Skatan – en arkeometallurgisk analys. Åhus sn, RAÄ 23, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 13-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1999. Arkeometallurgiskt material från Välluv – en okulär klassificering. Välluv sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 14-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1999. Ämnesjärn från Arninge. Täby sn, RAÄ 335, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 15-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1999. Föremål av järn från Gröndal. Lunda sn, RAÄ 192, 241, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 16-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg och metall från Lilla Oppen. Tanums sn, Bohuslän. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 17-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E., Kresten, P. & Grandin, L. 1999. Slagg från Odensvi bytomt. Odensvi 2:6, Viby sn, RAÄ 33:1, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 18-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Arkeometallurgiskt material från Vittene – en arkeometallurgisk analys. Norra Björke sn, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 19-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smidesavfall från Kräggesta. Kolsva sn, RAÄ 255. Västmanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 20-1999*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smedjan i Vantinge, Barkåkra sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 21-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg och metall från Kyrkesviken. Grundsunda sn, RAÄ 121, Ångermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 22-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smidesavfall från Stora Ullevi. Linköpings kommun. Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 23-1999*. Uppsala.
-
- Englund, L-E. 2000. Arkeometallurgiskt material från Lill-Mosjön – registrering och okulär klassificering. Grundsunda sn, RAÄ 356, Ångermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 1-2000*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L. & Englund, L-E. 2000. Järn- och metallhantering i en stormannamiljö. Förundersökning, Väg 11, Delsträckan Östra Tommarp – Järrestad, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 2-2000*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Kresten, P. 2000. Smidesavfall och stenmaterial från kvarteret Örtedalen, RAÄ 88, Uppsala stad, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 3-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2000. Järnframställning i Ljungby. RAÄ 336, Ljungby sn, Kalmar län, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 4-2000*. Uppsala.
- Kresten, P., Hjärthner-Holdar, E. & Stilborg, O. 2000. Vendeltida metallurgi i Dagstorp, Skåne. Väst kustbanan SU 21, Dagstorp 1:2-3, 5:31, Dagstorp sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 5-2000*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 2000. Smidesavfall från ett Fyrkathus i Köpingsbro. RAÄ 50a-b, Stora Köpings sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 6-2000*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Grandin, L. 2000. Smidesavfall från Tågerup och Särslöv. Saxtorps sn, Dagstorps sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analyserapport 7-2000*. Uppsala.

- Kresten, P. 2000. Geotermometri av stenmaterial. Lilla Oppen, Tanums sn, Bohuslän. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-2000*. Uppsala.
- Kresten, P. 2000. Geotermometri av stenmaterial från ett härdområde. Kv Elektronen, Jönköping, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-2000*. Uppsala.
- Englund, L-E. 2000. Gropschaktugnen från Ljungby. RAÄ 336, Ljungby sn, Småland, Kalmar län. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-2000*. Uppsala.
- Kresten, P. 2000. Geotermometri av referensmaterial, samt en diskussion av de geotermometriska bestämningarna för härdarna på Glumslövs Backar. LUHM nr 30899, Glumslövs sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport nummer 11-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2000. Järnframställning i Ytterhogdal. Inledande arkeometallurgiska analyser. RAÄ 165, Ytterhogdals sn, Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-2000*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 2000. Analys av fyndmaterial från boplatsen Rå-Inget I. SHM 23740-I, Ådals-Lidens sn, Ångermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-2000*. Uppsala.
- Kresten, P. 2000. Analys av slagg från Aker. Oslo kommune, Norge. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-2000*. Uppsala.
- Kresten, P., Hjärthner-Holdar, E. & Harrysson, H. 2000. Metallhantering i Uppåkra. Råämnen och halvfabrikat. (Interimsrapport), LUHM 31000, Uppåkra sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. 2000. Spadformade ämnesjärn från Torsåker. Inledande arkeometallurgiska analyser. Kråknäset, Torsåkers sn, Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-2000*. Uppsala.
-
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2001. Kalkrikt material från Kvinnerstatorp. Analyser. Dammsätter, RAÄ 172, Axbergs sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. 2001. Stenartefakter från Lund 4:1. RAÄ 28 och 32, Hovsta sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-2001*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 2001. Järnframställning och smide i Ramlösa. Arkeometallurgiska analyser. Ramlösa, Helsingborgs stad, RAÄ 183, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-2001*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 2001. Gjutning och järnsmide i en stormannamiljö. Arkeometallurgiska analyser. Järrestad, Järrestads sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. & Englund, L-E. 2001. Undersökning av jordprov från A262 invid Stretered. RAÄ 77:2, Kållereds sn, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. 2001. Geotermometri av stenmaterial från väg 11. LUHM 31156, Järrestads sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-2001*. Uppsala.
- Grandin, L. & Hjärthner-Holdar, E. 2001. Smedjan på Kröjars. Metallografiska analyser av järnföremål och smidesavfall. Kröjars, Ängersjö sn, Hälsingland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. 2001. Analys av smält material från Kalvshälla. RAÄ 20+67, Järfälla sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 8-2001*. Uppsala.
- Kresten, P., 2001. Geotermometri och TL-datering av stenmaterial från väg 11. LUHM 31156, Järrestads sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-2001*. Uppsala.
- Kresten, P., Hjärthner-Holdar, E. & Harrysson, H. 2001. Metallurgin i Uppåkra: Icke-järnmetaller under tusen år, LUHM 31000, Uppåkra sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 2001. Stenfynd från väg 11, SU2. LUHM nr 31156, Järrestads sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-2001*. Uppsala.
- Englund, L-E. 2001. Okulärbesiktning av slagg från Östra Spång. Östra Spång 6:1, RAÄ nr 6, Örkelljunga sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-2001*. Uppsala.

Forskningsrapporter

- Kresten, P. 1995. Laboratoriets databaser 1995-09-30. Projekt "Analytisk dokumentation". *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R01-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1995. Kemiska analyser av malm och slagg - en jämförelse mellan olika laboratorier - analysvärden för referensslaggen W-25:R. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R02-1995*. Uppsala.
- Kresten, P. 1995. Laboratoriets databaser 1995-12-31. Projekt "Analytisk dokumentation". *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R03-1995*. Uppsala.
- Kresten, F. & Kresten, P. 1995. Laboratoriets dataprogram 1995-12-31. Projekt "Analytisk dokumentation". *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R04-1995*. Uppsala.
-
- Kresten, P., Larsson, L. & Hjärthner-Holdar, E. 1996. Thermometry of ancient iron slags from Sweden, and of vitrified material from various hill-forts in Western Europe. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R01-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. & Kresten, F. 1996. Hill-forts with vitrified or calcined ramparts: index and reference list. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R02-1996*. Uppsala.
- Kresten, P. 1996. Analyse des Schlackenwalles von Bernstorf, Bayern, BRD (GER015). *Geoarchäologisches Labor, Forschungsbericht R03-1996*. Uppsala.
-
- Kresten, P. & Fagerlund, D. 1997. Fissionsspårsanalys av upphettat stenmaterial: Metodik, resultat och möjligheter. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R01-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analysis of vitrified material from Hunsbury hill-fort, Northamptonshire, England, and of slag XP72 from the experimental smelting of Northamptonshire ironstone. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R02-1997*. Uppsala.
-
- Kresten, P. 1998. Malung eller Sala? Diskussion av kvarnstensbrottens betydelse från vikingatid till nyare tid. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R1-1998*. Uppsala.
- Larsson, L., Kresten, P. & Hjärthner-Holdar, E. 1998. Application of experimental data in archaeometallurgy. Examples from smelted siderite and magnetite ores. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R2-1998*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1998. Från brons till järn i Sverige. Bronsgjutarna som blev järnproducenter. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R3-1998*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1998. Identifikation, dokumentation, urval och registrering – ett inlägg i debatten om massmaterialen från järn- och metallhanteringen. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R4-1998*. Uppsala.
- Kresten, P., Hjärthner-Holdar, E. & Larsson, L. 1998. Geochemistry in archaeometallurgy, paper presented at BUMA IV (Matsue, Japan). *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R5-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. 1998. Ralby hytta RAÄ 109, Dannemora sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R6-1998*. Uppsala.
-
- Kresten, P. 1999. Ralby hytta: magnetometri, RAÄ 109, Dannemora sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R1-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Analysis of a smelting slag from Develier-Courtételle, Canton, Jura, Switzerland. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R2-1999*. Uppsala.
-
- Grandin, L. & Hjärthner-Holdar, E. 2000. Early iron production in the Red Earth area, south central Sweden. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R1-2000*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Risberg, C. 2000. Järnet en lyckad innovation. Från brons till järn i Norden och Grekland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R2-2000*. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 2000. X-Ray Diffraction analysis of Austrian radiolarites. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R3-2000*. Uppsala.
- Flera författare. 2000. Hantverkets roll i samhället – produktion och reproduktion. Rapport från den tredje workshopen om hantverksspecialisering Uppsala 18-19 mars 1999. Red: Hjärthner-Holdar, E. & Risberg, C. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R4-2000*. Uppsala.
- Kresten, P. 2000. Analysis of LBA celts from the collections of the Museum of Nordic Antiquities, University of Uppsala. Project "Iron technology – a successful innovation. From bronze to iron in Scandinavia and Greece". *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R5-2000*. Uppsala.

- Kresten, P. 2000. Slag inclusions and provenancing: Examples from Lapphyttan, Sweden. Paper presented at the conference on "Founders, Smiths and Platers" at Oxford, September 1999. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R6-2000*. Uppsala.
- Strucke, U. 2000. Vedartsanalys av material från Asine, Grekland. Project "Iron technology – a successful innovation. From bronze to iron in Scandinavia and Greece". *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R7-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. 2000. Poly-metallic activities at Asine. Preliminary archaeometallurgic analyses. Asine, Peloponnese, Greece. Project "Iron technology – a successful innovation. From bronze to iron in Scandinavia and Greece". *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R8-2000*. Uppsala.
- Grandin, L., Hjärthner-Holdar, E. & Englund, L-E. 2000. Tidig järnframställning i Röda Jorden – en arkeometallurgisk undersökning. RAÄ 366, 370, 371, 372 och 380, Ramsbergs socken. RAÄ 314, Skinnskattebergs socken, Västmanland. Projektet "Järnet – en lyckad innovation. Från brons till järn i Norden och Grekland". Projektet "Analyser av arkeologiskt material med anknytning till äldre järnframställning". *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R-9 2000*. Uppsala.
- Grandin, L. 2000. Early iron production in the Red Earth area – analyses of archaeometallurgical material. Project "Iron technology – a successful innovation. From bronze to iron in Scandinavia and Greece". Project "Analyses of archaeological material related to early iron production". *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R10-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. & Hjärthner-Holdar, E. 2000. Bronsålderns järnproducenter. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R11-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. 2000. Metal craft in south-eastern Zimbabwe. Archaeometallurgic analyses. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R12-2000*. Uppsala.
-
- Englund, L-E. 2001. Minnesanteckningar från en exkursion i Torsåkers och Årsunda socknar, Gästrikland, den 3-4 juli 2001. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R1-2001*. Uppsala.
- Englund, L-E. 2001. Ett blästugsfragment med luftintag från Sörby, Årsunda sn, Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R2-2001*. Uppsala.