

Arkeologisk undersökning

Järn, slagg och snö vid fornlämning 186



Undersökning av fornlämning 186, järnframställningsplats,
inför byggnation inom Hedenstorp 1:3 m.fl.

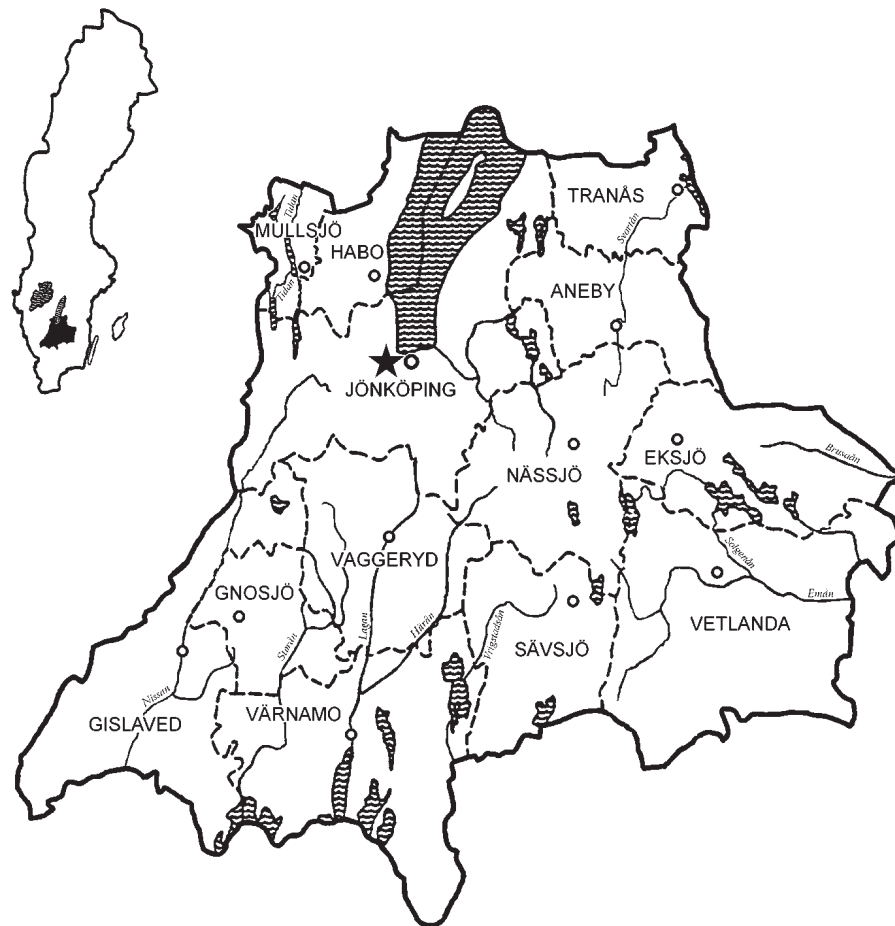
*Sandseryds socken i Jönköpings kommun
Jönköpings län*

Arkeologisk undersökning

Järn, slagg och snö vid fornlämning 186

Undersökning av fornlämning 186, järnframställningsplats, inför byggnation inom Hedenstorp 1:3 m. fl.

*Sandseryds socken i Jönköpings kommun
Jönköpings län*



Rapport, foto och ritningar: Moa Lorentzon
 Grafisk design: Anna Stålhammar
 Tryckning och distribution: Marita Tidblom

Jönköpings läns museum, Box 2133, 550 02 Jönköping
 Tel: 036-30 18 00
 E-post: info@jkpglm.se
www.jkpglm.se

Utdrag ur tryckta och ajourhållna ekonomiska kartor är återgivna enligt tillstånd:
 Ur karta © Lantmäteriet. Medgivande MS2007/04833.

© JÖNKÖPINGS LÄNS MUSEUM 2008

Innehåll

Inledning.....	5
Målsättning och metod	5
Topografi, vegetation och geologi	6
Fornlämnings- och kulturmiljö.....	6
Tidigare undersökningar i området.....	7
Undersökningar 1986–1992	7
Järnframställningsplatser	7
Gravar och boplatser.....	7
Utredning och förundersökning av fornl 186	7
Resultat.....	8
Kolningsgropar.....	8
Slaggvarp	8
Sammanfattning och diskussion	14
Administrativa uppgifter.....	17
Referenser.....	18
Tryckta källor	18
Arkiv.....	18
Figurförteckning.....	19

Bilagor

- Bilaga 1. Översikt AU och FU.
- Bilaga 2. Översikt UN.
- Bilaga 3. Anläggningsbegskrivningar, kolningsgropar.
- Bilaga 4. ¹⁴C-dateringar.
- Bilaga 5. Planritning, 1:a rensningen.
- Bilaga 6. Planritning, 6:e rensningen.
- Bilaga 7. Fyndlista.
- Bilaga 8. Englund, L-E. & Grandin, L. Analysrapport 1-2002. Avdelningen för arkeologiska undersökningar UV GAL.



FIGUR 1. Utdrag ur digitala fastighetskartan. Röd cirkel markerar undersökningsområdets läge.

Inledning

Med anledning av planerade industrietableringar inom fastighet Hedenstorp 1:3, Sandseryds sn, Jönköpings kommun, har Jönköpings läns museum genomfört en arkeologisk undersökning av fornlämning 186, järnframställningsplats, inom området (FIGUR 1). Under fyra bistra vinterveckor i oktober–november 2001, undersöktes en parblästa samt 5 möjliga kolningsgropar. Lämningarna låg inom en ca 80 000 m² stor undersökningsyta varav ca 5 000 m² undersöktes intensivt.

Fält- och rapportansvarig var Moa Lorentzon, Jönköpings läns museum och i fält jobbade också Håkan Hylén och Samuel Björklund från samma institution samt Lars-Erik Englund från Geoarkeologiska laboratoriet (UV-GAL) i Uppsala. Englund ledde undersökningen av slagghvarp och ugnslämningar och har också genomfört de arkeometallurgiska analyserna på material från lämningen.

Beställare av arbetet var Tekniska kontoret, Jönköpings kommun.

Målsättning och metod

En arkeologisk undersökning innebär att fornlämningen undersöks, dokumenteras i fält och plockas bort. Målsättningen är att göra detta på sådant sätt att frågor kring lämningen och den verksamhet som bedrivits kan besvaras. I föreliggande fall ställdes följande frågor:

- Är de 5–10 kolningsgropar som ligger inom rimligt avstånd från slagghvarpet, möjliga att knyta till järnframställningen?
- Är järnframställningsplatsen av samma typ som dem som undersökts på och kring Axamo flygplats?
- Går det att, i detta fall till skillnad från tidigare undersökningar, fastställa placeringen av ugnarnas blästerhål?
- Är den samtida med Axamougnarna (700–1200 e.Kr.) eller med den ugn som tidigare undersökts inom Hedenstorp (12–1300 e.Kr.)?
- Finns spår av t.ex. rostningsplats eller färskningsugn eller andra anläggningar som kan knytas till verksamheten?

För att svara på ovanstående genomfördes undersökningen på följande sätt:

- Ett större område runt slagghvarpet banades av för att fastställa eventuella anläggningar som kan knytas till verksamheten.
- Kolningsgroparna avbanades och undersöktes.
- Alla anläggningar mättes in digitalt samt fotograferades.
- Alla anläggningar som undersöktes ritades i profil samt beskrevs.
- Prover för ¹⁴C- och vedartsanalys togs från alla undersökta anläggningar, där så var möjligt.

Ugnarna rensades fram samt undersöktes och dokumenterades stratigrafiskt.

Allt material från slagghvarpet sållades och slaggh och ughsdelar vägdes.

En liten del av det material som låg i slagghvarp och ughnar, samlades in och registrerades.

Frågor rörande arkeometallurgin, verksamheten, processen, omfattning och datering, ställdes i första hand av Lars-Erik Englund, UV-GAL. Englund ledde undersökningen av slagghvarp och ughslämningar och svarade för all provtagning av lämpliga slaggher för analys. För dessa frågor liksom mål och metoder hänvisas till Anlysrappport 1-2002, UV-GAL (Englund & Grandin). Rapporten bifogas som bilaga 8.

Topografi, vegetation och geologi

Undersökningsområdet ligger ca 5 km väster om Jönköpings stad, 225 m ö h och är mycket karaktäristiskt för norra Småland. Ett dödislandskap med flera mindre sänkor, ofta sankar och med mossbildning, omgärdade av små, skarpt avgränsade höjder av sand och/eller grus. Sankområdena förtätas söderut och bildar så småningom Dumme mosse. Ett större vattendrag, Dunkehallaån, rinner norr om området i VSV-ONO riktning (FIGUR 1).

Växtligheten över större delen av området var, fram till exploatering, ung och tät tallskog. Inom ett mindre område i söder stod äldre och glesare tallskog fortfarande kvar då undersökningen genomfördes. Jordmånen i området var podsolfjord, alltså en tunn förna av främst mossa, en tunn horisont av förmultnade växtdeklar, grå, urlakad sand och nederst rödjord bestående av grusig sand.

Området begränsades i väster av en trafikövningsplats, i söder och norr av riksväg 40 respektive länsväg 673 och i öster av idag bebyggda industritomer.

Fornlämnings- och kulturmiljö

Fornlämningsbilden i Sandseryds socken domineras av järnframställningslokaler från yngre järnåldern och tidig medeltid samt av gravar och gravfält från romersk järnålder–folkvandringstid (domarringar, stensättningar, stenkretsar etc.). Fornlämning 186 i Hedenstorp var en av ett flertal järnframställningsplatser som ligger och har legat inom ett begränsat område kring Dumme mosse, Jönköpings flygplats, Västersjön och Axamosjön (FIGUR 2). Närmaste slagghvarp ligger strax S om riksväg 40, ca 350 meter V om fornlämning 186 och ytterligare ca 500 meter S därom ligger tre slagghvarp, inom fornlämning 190.



FIGUR 2. Röda stjärnor markerar lämningar efter lågteknisk järnframställning kring Dumme mosse, Jönköpings flygplats, Västersjön och Axamosjön.

Tidigare undersökningar i området

Undersökningar 1986–1992

Mellan åren 1986 och 1992 undersöktes, inom och omkring Hedenstorp industriområde, både järnframställningslokaler, gravar och boplatser.

Järnframställningsplatser

Under åren 1986–1990 undersöktes flera järnframställningsplatser vid Axamo flygplats, ca 2,5 km SV om Hedenstorp (fornl 171, 172, 173, Jlm Dnr 205/89, 243/90, 531/90). De bestod av sammanlagt sex ugnar, liknande den som undersökts inom fornl 186, samt ett 20-tal kolningsgropar, liksom rostfärgade ytor där malmen troligtvis förvarats i väntan på bränning. Inom området undersöktes också flera kolmilor. Järnframställningsplatserna dateras till yngre järnålder-medeltid (700–1200 e.Kr.), med en möjlig koncentration i vikingatid (800–1000 e.Kr.).

Söder om fornl 6, inom Hedenstorp (FIGUR 3), undersöktes 1990 en järnframställningsplats, 6 kolningsgropar, 25 härdgropar samt ett 15-tal härdar (Jlm Dnr 236/90, 440/90). Järnframställningsplatsen, en av härdgroparna samt tre kolningsgropar daterades till tidig medeltid medan sju härdar daterades till förromersk järnålder–vendeltid.

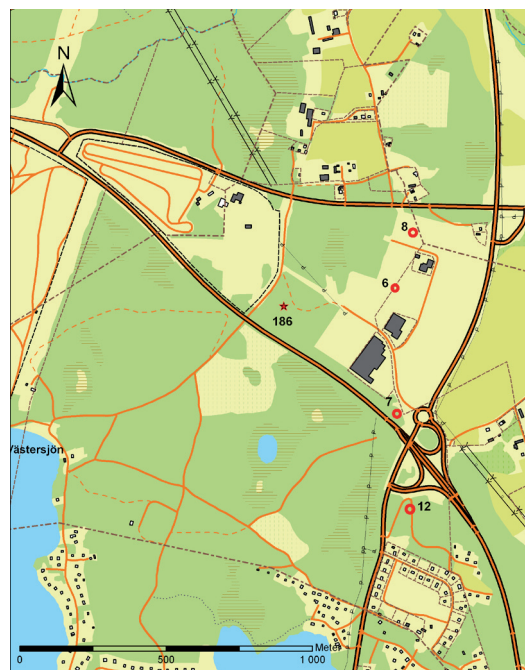
Gravar och boplatser

1991 undersöktes, inom Hedenstorp, fornl 6 och 8 (Jlm Dnr 165/91:2 resp. 165/91:1), registrerade i fornlämningsregistret som rund stensättning, rektangulär stenkrets samt ett röse. Vid undersökningarna framkom inom fornl 6 tre brandgravar daterade till romersk järnålder–vendeltid vilka innehöll pärlor av glas, bärnsten och brons, keramik, brons- och järnföremål samt brända ben. Inom fornl 8 påträffades ca 15 brandgravar och en skelettgrav, också de daterade till romersk järnålder–vendeltid. Fynden bestod bl.a. av korsarmade bronsfibulor med djurornamentik, ringar i brons, knivar och smält glas. Förutom gravar påträffades ett stort antal härdar samt en skärvstenshög, samtida med gravarna.

Utredning och förundersökning av fornl 186

Vid utredningen (Jlm Dnr 225/00) undersöktes fem *kolningsgropar* N om fornl 186, AU1–5 (bilaga 1). AU2 och 4 daterades och de användes någon gång under perioden 1250–1440 e.Kr (bilaga 4) (Lorentzon 2000). Inom detta område låg också fyra kolbottnar, varav tre låg mindre än 20 meter från varsin kolningsgrop. Kolbottarna var inte föremål för undersökning.

Vid förundersökningen (Jlm Dnr 425/00) undersöktes tre av de ca 10 *kolningsgropar* som låg kring slagghvarpet, FU1–3 (bilaga 2).



FIGUR. 3. Gravar och gravgrupper inom och kring Hedenstorp. Siffror motsvarar fornlämningsnummer i Sandseryds socken.



FIGUR 4. Från S. Slaggvarpet har frilagts, ca 3 x 1 meter stort. I centrum ligger flera stenar, vilka utgör rester efter två ugnar. Runt slaggvarpet har torven banats av med maskin.



FIGUR 5. Från SO. Kolningsgrop UN1. Yngre omgrävning syns i nedersta kanten.



FIGUR 6. Från N. Kolningsgrop UN2. Rester av kolade stockar syns i hörn och sidor.



FIGUR 7. Från S. Kolningsgrop UN3.

Utbredningen av kol kring kolningsgroparna var för alla tre störst i riktning mot slaggvarpet, troligen p.g.a att kolningen varit avsedd för järnframställningen. En av kolningsgroparna, FU1, daterades och den användes någon gång under perioden 990–1250 e.Kr. (bilaga 4). De två små groparna V om FU1 kunde avfärdas som naturliga (Lorentzon 2001).

En begränsad del av *slaggvarpet* frilades för hand. Rester efter två ugnar framkom i centrum av anläggningen och runt dessa låg slagg över en ca 3 x 1 meter stor yta. Runt slaggvarpet banades större ytor av med maskin för att fastställa eventuell förekomst av angränsande anläggningar (FIGUR 4). Två områden med rödfärgad sand blandat med enstaka slaggbitar, ca 2 x 1 meter stora, framkom V respektive NNV om slaggvarpet, FU4 och FU5 (bilaga 2), tolkade som malmrostningsplatser. Inom området i V, FU4, låg en större sten, en möjlig fällsten. Strax Ö om ugnarna låg en rund kol- och sotfläck, ca 2 x 1 meter i diameter (N-S), FU6 (bilaga 2) (Lorentzon 2001).

Resultat

Kolningsgropar

Innan själva slaggvarpet och ugnarna undersöktes, avbanades, inom undersökningsområdet, fem kolningsgropar med maskin, varav de två mindre kunde avfärdas som naturliga gropar (bilaga 2). De tre kolningsgroparna, UN1–3, rensades och dokumenterades i plan varvid UN2 och 3 undersöktes och profilerna dokumenterades (bilaga 3).

UN1 var rektangulär i plan med något oregelbunden form, vilket tolkades som att gropen grävts om vid en yngre användning (FIGUR 5).

UN2 var kvadratisk i plan. I hörnen och längs sidorna framkom rester av kolade stockar (FIGUR 6), men inte tillräckligt mycket för att kunna avgöra hur veden staplats i gropen. Undersökningen visade att gropen troligen använts vid två kolningsomgångar och kol från botten av gropen daterade den äldsta omgången till 980–1190 e.Kr. För vedartsanalys plockades tio kolbitar från olika delar av UN2 och samtliga var tall (bilaga 4).

UN3 var rektangulär i plan. I ytan syntes rester av kolade stockar (FIGUR 7) men inte heller här var tillräckligt mycket bevarat för att kunna säga hur veden staplats. Gropen har troligen använts vid endast en kolningsomgång.

Slaggvarp

Redogörelsen för undersökningen av slaggvarpet är endast en sammanfattning av Englund & Grandins Analysrapport (bilaga 8). Jag har i första hand försökt ta med de bitar av resultaten som

svarar på de frågor som ställdes av Jönköpings läns museum inför undersökningen. För en komplett redogörelse samt rekonstruktionsförslag och tolkning av process och produktion, hänvisas till bilaga 8.

Efter att slagghvarp och ugnar rensats en första gång, ritades de i plan (bilaga 5) och de och området fotades (FIGUR 8A). Utbredningen av slagghvarpet framkom, liksom av de två ugnarna. Hela anläggningen var långsträckt, ca 5 x 3 meter (N-S) och låg i en svag V-sluttning. I mitten av anläggningen låg de två ugnarna vilka utgjordes av stenar, stående på högkant, samt lera. Mittpunkterna låg ca 1 meter från varandra. Kring schakten fanns områden med ljus sand (lager 5 och 6, bilaga 5).

Rensning och utgrävning fortsatte (FIGUR 8B). Strax V om ugnarna fanns ett område med kraftigt rödjordsinblandad sand (lager 7, bilaga 5), 2 x 1 meter (N-S). Området befann sig mellan ugnarna och den ena rostningsplatsen (FU4), och har av Englund tolkats som den plats där smeden stått och chargerat ugnarna (fyllt på ugnarna med malm och bränsle) (Englund & Grandin, 2002). Anläggning FU6, rund kol- och sotfläck Ö om slagghvarpet (bilaga 5), grävdes ur och visade sig innehålla enbart kol. Troligen har det varit en mellanlagringsplats för det träkol som använts vid järnframställningen (Englund & Grandin, 2002).



FIGUR 8A. Från V. Ugnar, 1:a rensning. FU6, kol- och sotfläck, anas Ö om ugnarna.



FIGUR 8B. Bilden överst: Från V. Bilden nederst: Från Ö. Ugnar, 2:a rensning.



FIGUR 8C. Bilden överst: Från Ö. Bilden nederst: Från S. Ugnar, 3:e rensning. Den ljusa sanden som isolerat ugnarna syns tydligt S, Ö och N om dessa. SV om ugnarna syns ett rakt kolstreck, troligen rester efter en träkonstruktion som hållt isoleringssanden på plats.

Den ljusa sanden kring ugnsschakten (lager 5 och 6) avgränsades tydligt mot respektive slaggharp i N och S (lager 1 och 2). I SV avgränsades den ljusa sanden av ett rakt kolstreck, några centimeter brett och ca 1 meter långt. Troligen har ugnarna isolerats med sand och haft någon konstruktion av trä som hållt sanden på plats (Englund & Grandin, 2002) (FIGUR 8C).

Slaggharp och övriga lager togs bort kring ugnsschakten varvid dessa frilades (bilaga 6). Ugnarnas pipor var uppbyggda av lera, ca 0,1 meter tjock, stöttade på utsidan av stenar stående på högkant. Längst in mot ugnsschakten var leran förslaggad, till ett djup av ca 0,01 meter, något mer i V sidorna, slaggtappningssidorna. Detta syns främst i N schaktet (FIGUR 8D). Luftintaget har suttit precis ovanför slaggtappningsrännorna (lager 1 och 2, BILAGA 6, FIGUR 8E), vilket gjort att temperaturen blivit högst där (Englund & Grandin, 2002). I motstående vägg, blåsväggen, var leran lätt förslaggad.

Södra ugnsschaktet var oregelbundet till oavsett, innermättet var ca 0,4 x 0,3 meter (Ö-V) mellan kvarvarande lerväggar. Ugnskonstruktionen hade en bevarad schakthöjd på ca 0,2 meter. Ytterformen på ugnen var närmast rund, ca 0,6 meter i diameter. Norra ugnsschaktet var oavsett, innermättet var 0,36 x 0,28 meter (Ö-V) mellan kvarvarande lerväggar (FIGUR 8F, G). Ugnskonstruktionen hade en bevarad schakthöjd på ca



FIGUR 8D. Från N. Ugnar, 4:e rensning. I N ugnsschaktet syns den kraftigt förslaggade leran i V sidan, slaggtappningssidan, där luftintaget suttit.



FIGUR 8E. Från V. Ugnar, 5:e rensning. Slaggtappningsrännorna syns från ugnsschaktens V sidor. Gropen i Ö är utgrävd.



FIGUR 8F. Från S. Ugnar, 6:e rensning. N ugnsschaktet.

0,35 meter varav 0,3 m bestod av lerpipan och ca 0,05 m av gropan under själva ugnsschaktet. Ytterformen var oval, 0,7 x 0,6 meter (N-S).

Fyllningen i schakten bestod av sot- och rödfärgad, fet jord med inblandning av brända lerfragment, slagg, kol och sot. Båda schaktens bottenar var lätt skålformade och svagt lutande ut mot tappränorna. Under schakten var sanden rödbränd (FIGUR 8H, I).

De stenar som använts att stötta schakten från utsidan, var bearbetade för att få önskad form. Närmast schakten var stenarna kraftigt skörbrända. Stenarna var inte nedgrävda utan stod på ursprunglig marknivå, vilket också var fallet med lera. Ugnarnas/schaktens absoluta bottenar var något nergrävda och låg ca 0,05 m under lera, stenar och ursprunglig marknivå.

Tappränorna var 0,7-0,9 meter långa med rundade bottenprofiler, ca 0,05 meter djupa, 0,1-0,15 meter breda. Från norra ugnen sträckte sig tapprännan åt NV, från den södra åt SV-SSV (lager 1 och 2, bilaga 6). Mellan tappränorna fanns ett stolphål, ca 0,2 meter i diameter, 0,13 meter djupt med spetsig profil (A4, BILAGA 6, FIGUR 8G).

Allt material sällades och slagg och lera från ugnarna vägdes. En liten del av detta material samlades in och registrerades (bilaga 7). Den totala slaggvikten var 517 kg, huvudsakligen tappslag, reduktionsslagg som stelnat i tappränorna framför ugnarna. Både i varpen och på ursprunglig plats i ugnarna, fanns även bottensköllor, reduktionsslagg som stelnat på ugnarnas botten. Den totala lervikten var ca 150 kg, varav 84 kg var den lera som fanns kvar i ugnarna. Den låga slaggmängden gör den här platsen till den minsta av de parblästor som undersökts i Jönköpingsområdet (Englund & Grandin, 2002).

Någon fällsten, ett stenstöd där smältan rensades från slagg, eller plats för fällsten hittades aldrig. Den stora sten som låg inom malmrostningsplatsen FU4, antogs i ett tidigt skede vara en möjlig fällsten, men den karaktäristiska sprutslag som alltid finns runt en sådan, saknades här helt.

Sammanlagt daterades fem prover från slagggvarp och ugnar och de samlar sig i perioden ca 900–1250 e.Kr. Fem prov vedartsanalyserades och samtliga prov var tall (bilaga 4).



FIGUR 8G. Översta bilden: Från V.
Ugnar, 7:e rensning. Tappränna är utgrävd, mellan
dem syns stolphålet, A4, utgrävt.
Mellersta bilden: Från N.
N ugnen med tappränna, utgrävd.
Nedersta bilden: Från S.
S ugnen med tappränna, utgrävd.



FIGUR 8H. Översta bilden: Från Ö.
N ugnen bortgrävd.
Nedersta bilden: Från V.
S ugnen bortgrävd



FIGUR 8I. Från N.
Sista spåren från N ugnen.

Sammanfattning och diskussion

Med anledning av planerade industrietableringar har Jönköpings läns museum, under fyra bistra vinterveckor i november 2001, undersökt fornlämning 186, järnframställningsplats, inom Hedenstorps industriområde. Lämningen bestod av ett slagghvarp samt 10 möjliga kolningsgropar i anslutning till detta.

Lars-Erik Englund från Geoarkeologiska laboratoriet (UV-GAL) i Uppsala ledde undersökningen i fält av slagghvarp och ugnslämningar och svarade för all provtagning av lämpliga slagger för analys. UV-GAL har genomfört de arkeometallurgiska analyserna på materialet från lämningen och för frågor och diskussion rörande verksamheten, processen, omfattning och till viss del datering, liksom för mål och metoder hänvisas till Anlysrapport 1-2002, UV-GAL (Englund & Grandin). Rapporten bifogas som bilaga 8.

Den första frågan som ställdes inför undersökningen var *om de 5–10 kolningsgropar som låg inom rimligt avstånd från slagghvarpet, var möjliga att knyta till järnframställningen?*

Redan vid förundersökningen undersöktes fem av de ca 10 möjliga kolningsgropar som låg kring slagghvarpet. Två små gropar kunde avfärdas som naturliga medan tre gropar tolkades som kolningsgropar FU1–3 (bilaga 2). Utifrån det faktum att utbredningen av kol kring kolningsgroparna för alla tre var störst i riktning mot slagghvarpet, kan kolningen med största sannolikhet knytas till järnframställningen. En av kolningsgroparna, FU1, daterades till ca 990–1250 e.Kr. vilket sammanfaller med dateringen av järnframställningen (ca 900–1250 e.Kr, se vidare nedan) och ytterligare knyter kolningen till denna (bilaga 4).

Vid själva undersökningen avbanades resterande fem möjliga kolningsgropar med maskin, varav de två mindre kunde avfärdas som naturliga gropar (bilaga 2). Av de tre kolningsgroparna, UN1–3, undersöktes och daterades en, UN2. Gropen har troligen använts vid två kolningsomgångar och kol från botten av gropen daterade den äldsta omgången till 980–1190 e.Kr. vilket, som ovan, sammanfaller med dateringen av järnframställningen (bilaga 4).

Av tio undersökta visade sig alltså sex gropar vara kolningsgropar vilka med största sannolikhet kan knytas till järnframställningen. Osäkert är dock om ännu fler gropar i närheten av slagghvarpet också kan knytas till detta. Minst ytterligare fyra möjliga gropar ligger i närheten (bilaga 1), men blev aldrig föremål för undersökning. Möjligen skulle de, tillsammans med UN1, kunna knytas till ytterligare ett slagghvarp, Ö om RAÄ 186. Någon sådan har dock inte påträffats trots noggrann sökning vid tidigare utredningar under 1990-talet.

En annan slutsats kan vara att kolningsgropar inte alltid ska förknippas med blästbruket. Att kolning i kolningsgrop praktiserats i området också efter att blästbruket troligen upphört, framgår bl.a. av

den utredning som föregick här redovisad undersökning. Vid utredningen undersöktes fem kolningsgropar, 200–500 meter N om järnframställningsplats RAÄ 186. Två av dem daterades och visade sig ha använts ca 1250–1440 e.Kr. I samma område låg fyra kolbottnar och det verkar troligt att kolningen fortsatt också efter det att blästbruket upphört, först i kolningsgrop och något senare också i mila.

Helt enkel är dock inte tolkningen av dessa medeltida kolningsgropar, då det Ö om dem, i anslutning till RAÄ 6, har undersökts en järnframställningsplats daterad till tidig medeltid (Jlm Dnr 236/90, 440/90). Det är alls inte otroligt att de nämnda kolningsgroparna har med denna eller samtida järnframställningsplatser att göra.

Resterande frågor som ställdes inledningsvis gällde själva järnframställningen och kan alla besvaras utifrån undersökningsresultaten. Till att börja med är järnframställningsplatsen RAÄ 186 av *samma typ som dem som undersökts på och kring Axamo flygplats*. Små parugnar med en invändig storlek på ca 0,3–0,4 meter i diameter. Ugnarnas pipor var uppbyggda av lera, ca 0,1 meter tjock, stöttade på utsidan av stenar stående på högkant. Troligen har ugnarna isolerats med sand och haft någon konstruktion av trä som hållt sanden på plats. Ugnarna tappades på slag under drift vilket framgår av tappränorna utanför ugnarna samt schaktbottnarnas svaga lutning ut mot dessa.

Något som skiljer denna plats från övriga i Axamo-området är den stolpe som stått i stolphålet mellan tappränorna, A4 (bilaga 6), då liknande stolphål inte har iakttagits vid tidigare undersökningar av parblästor i Axamo-området. Stolpen har tyvärr inte varit möjlig att tolka. Den låga slaggmängden gör också RAÄ 186 till den minsta av de parblästor som undersökts i Jönköpingsområdet (Englund & Grandin, 2002).

Antalet stenar i ugnskonstruktionen tolkades av Englund som få vid jämförelse med liknande ugnar i t.ex. Kind, på andra sidan länsgränsen. Där har ugnarna vanligtvis inrymts i en gemensam stenkista. Vad gäller mängden lera i de jämförda ugnskonstruktionerna är förhållandet det motsatta (Englund & Grandin, 2002). Naturliga förutsättningar verkar förklara valet av material i ugnarna. Då sten finns naturligt kring ugnarna i Kind är de näst intill obefintliga i Hedenstorp, medan lera varit lättare att hitta här än kring ugnarna i Västergötland. De stenar som använts i ugnarna i Hedenstorp måste ha hämtats till platsen och frågan är om fler stenar ursprungligen ingått i ugnskonstruktionerna och flyttats för att återanvändas i nya ugnar i området, eller om tillgången på lera kompenserat bristen på sten.

Ugnarnas lerväggar var förslaggade in mot ugnsschkten, något mer i V sidorna, slaggtappningssidorna. Detta talar för att *ugnarnas blästerhål suttit precis ovanför slaggtappningsränorna*, då temperaturen blir högst direkt innanför luftintaget (Englund & Grandin, 2002).

Dateringen från slaggsvarpet, sammanlagt fem prover från slaggsvarp och ugnar, samlar sig i perioden ca 900–1250 e.Kr. vilket gör

den samtida med de ugnar som förut undersöktes på och kring Axamo flygplats (700–1200 e.Kr.). Dateringarna sammanfaller också väl med de daterade kolningsgroparna i ugnarnas närhet (bilaga 4).

Redan under förundersökningen hade *två malmrosthingsplatser* dokumenterats V respektive NNV om slagghvarpet, FU4 och FU5 (bilaga 2). Inom området i V, FU4, låg en större sten, vilken först tolkades som en möjlig fällsten, men den karaktäristiska sprutslagg som alltid finns runt en sådan, saknades här helt. Några andra anläggningar som kan knytas till verksamheten hittades inte.



FIGUR 9. Moa Lorentzon fotograferar.



FIGUR 10. Lars-Erik Englund dokumenterar.



FIGUR 11. Moa Lorentzon och Samuel Björklund fotograferar.

Administrativa uppgifter

Länsstyrelsens tillstånd:	220-10217-01
Jönköpings läns museums dnr:	372/01
Beställare:	Jönköpings kommun
Rapportansvarig:	Moa Lorentzon
Fältansvarig:	Moa Lorentzon
Fältpersonal:	Moa Lorentzon, Samuel Björklund, Håkan Hylén, Ann-Marie Nordman (Jönköpings läns museum), Lars-Erik Englund (UV-GAL)
Teknisk inmätning:	Samuel Björklund
Fältarbetsid:	01-10-23-01-11-16
Län:	Jönköpings län
Kommun:	Jönköpings kommun
Socken:	Sandseryds socken
Fastighetsbeteckning:	Hedenstorp 1:3 m.fl.
Belägenhet:	Ekonomiska kartans blad 7D 1j
Koordinater:	X 6406100/Y 1398100
Undersökningsyta:	80 000 m ²
Fornlämningsnummer:	Sandseryd 186
Fornlämningstyp:	Järnframställningsplats
Tidsperiod:	Yngre järnålder–tidig medeltid
Fynd nr:	1–5
Tidigare undersökningar:	AU: Jlm Dnr 225/00, Rapport 2000:48. FU: Jlm Dnr 425/00, Rapport 2001:20.

Dokumentationsmaterialet förvaras i Jönköpings läns museums arkiv.

Referenser

Tryckta källor

Englund, L-E. & Grandin, L. 2002. *Järnframställning i parblästa. Hedenstorp, Axamo, RAA 186, Sandseryds sn, Småland, Jönköpings län. Avdelningen för arkeologiska undersökningar UV GAL. Analysrapport 1-2002.*

Lorentzon, M. 2000. *Arkeologisk utredning. Fornlämningar inom Hedenstoprs industriområde. - Inför exploatering för industri inom Hedenstorp 1:3 m.fl. Sandseryds socken i Jönköpings kommun, Jönköpings län.* Jönköpings läns museum, Arkeologisk rapport 2000:48. Jönköping.

Lorentzon, M. 2001. *Arkeologisk förundersökning. En slaggvarp och kolningsgropar, ett stolphål och röjningsrösen. - Inför planerad utvidgning av industriområde inom Hedenstorp 1:3 m.fl. Sandseryds socken i Jönköpings kommun, Jönköpings län.* Jönköpings läns museum, Arkeologisk rapport 2001:20. Jönköping.

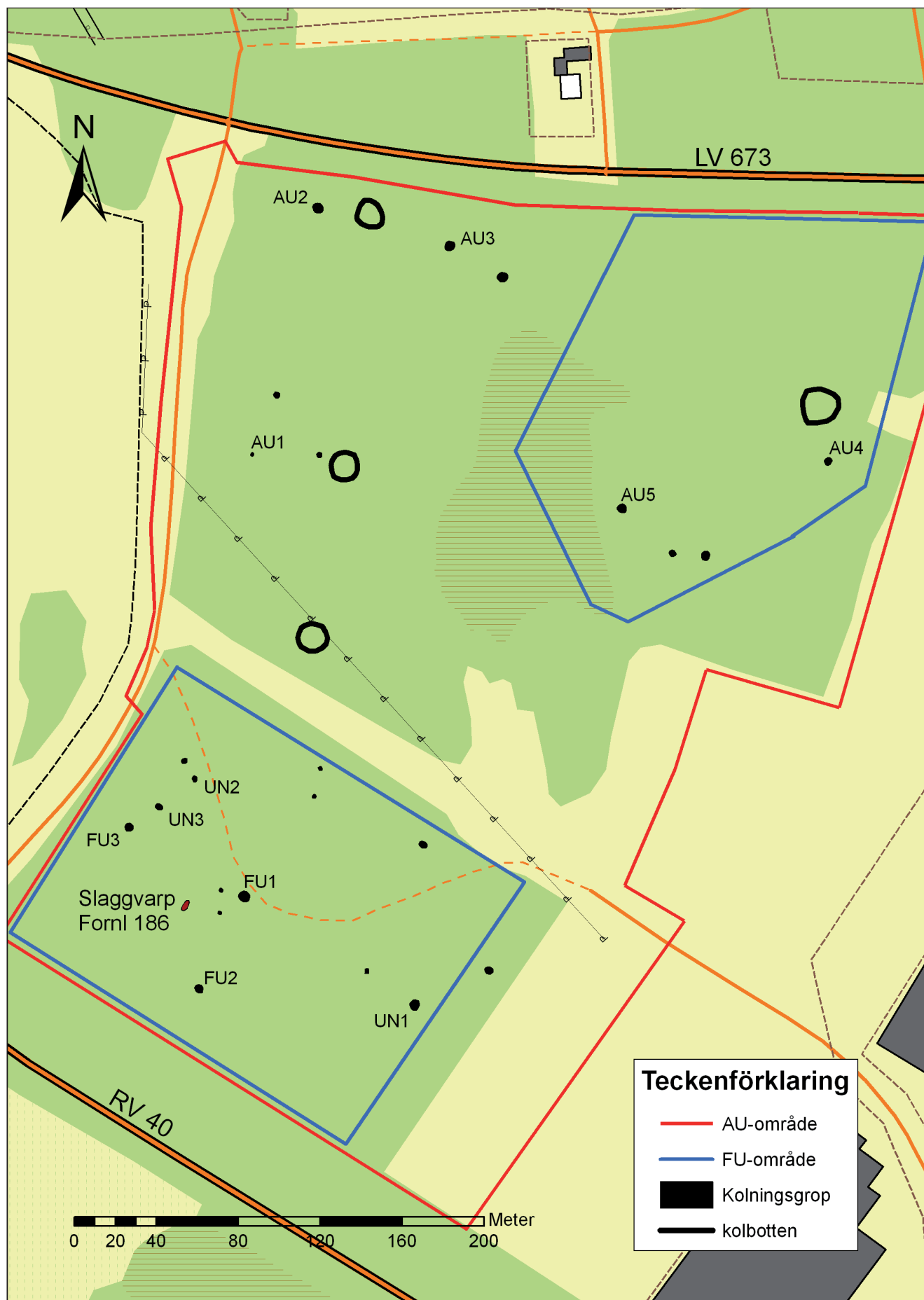
Arkiv

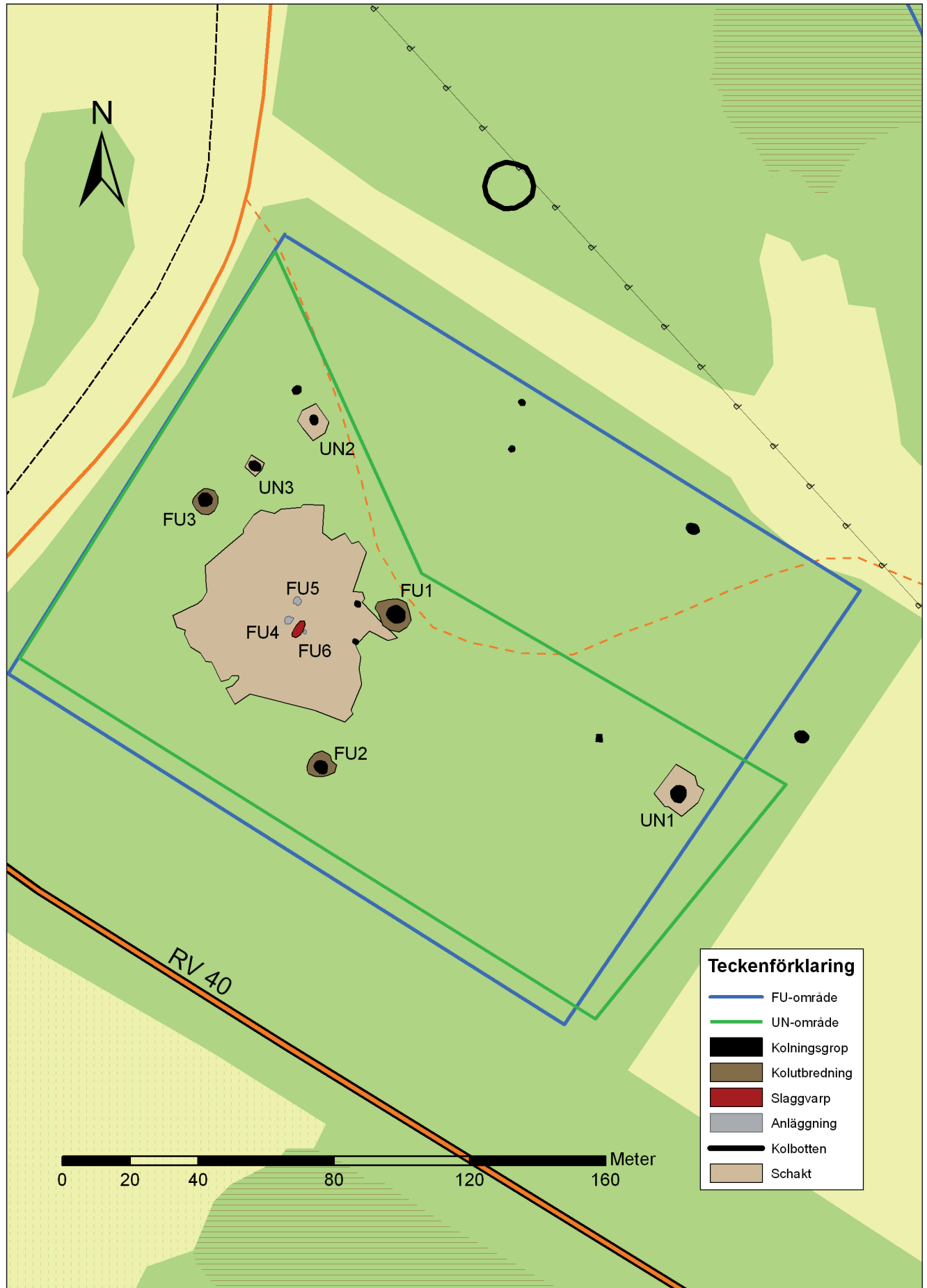
Jönköpings läns museums antikvarisk-topografiska arkiv.

FMIS - Riksantikvarieämbetets digitala fornminnesinformationssystem.

Figurförteckning

Figur 1. Utdrag ur digitala fastighetskartan. Röd cirkel markerar undersökningsområdets läge.	4
Figur 2. Röda stjärnor markerar lämningar efter lågteknisk järnframställning kring Dumme mosse, Jönköpings flygplats, Västersjön och Axamosjön.	6
Figur 3. Gravar och gravgrupper inom och kring Hedenstorp. Siffror motsvarar fornlämningsnummer i Sandseryds socken.	7
Figur 4. Slaggvarpet har frilagts, ca 3 x 1 meter stort. I centrum ligger flera stenar, vilka utgör rester efter två ugnar. Runt slaggvarpet har torven banats av med maskin.	8
Figur 5. Kolningsgrop UN1. Yngre omgrävning syns i nedersta kanten.	8
Figur 6. Kolningsgrop UN2. Rester av kolade stockar syns i hörn och sidor.	8
Figur 7. Kolningsgrop UN3.	8
Figur 8a. Ugnar, 1:a rensning. FU6, kol- och sotfläck, anas Ö om ugnarna.	9
Figur 8b. Ugnar, 2:a rensning.	9
Figur 8c. Ugnar, 3:e rensning. Den ljusa sanden som isolerat ugnarna syns tydligt S, Ö och N om dessa. SV om ugnarna syns ett rakt kolstreck, troligen rester efter en träkonstruktion som hållt isoleringssanden på plats.	10
Figur 8d. Ugnar, 4:e rensning. I N ugnsschaktet syns den kraftigt förslaggade leran i V sidan, slaggtappningssidan, där luftintaget suttit.	10
Figur 8e. Ugnar, 5:e rensning. Slaggtappningsrännorna syns från ugnsschaktens V sidor.	10
Figur 8f. Ugnar, 6:e rensning. N ugnsschaktet.	11
Figur 8g. Ugnar, 7:e rensning. Tapprännorna är utgrävda.	12
Figur 8h. Ugnarna bortgrävda.	13
Figur 8i. Sista spåren från N ugnen.	13
Figur 9. Moa Lorentzon fotograferar.	16
Figur 10. Lars-Erik Englund dokumenterar.	16
Figur 11. Moa Lorentzon och Samuel Björklund fotograferar.	16





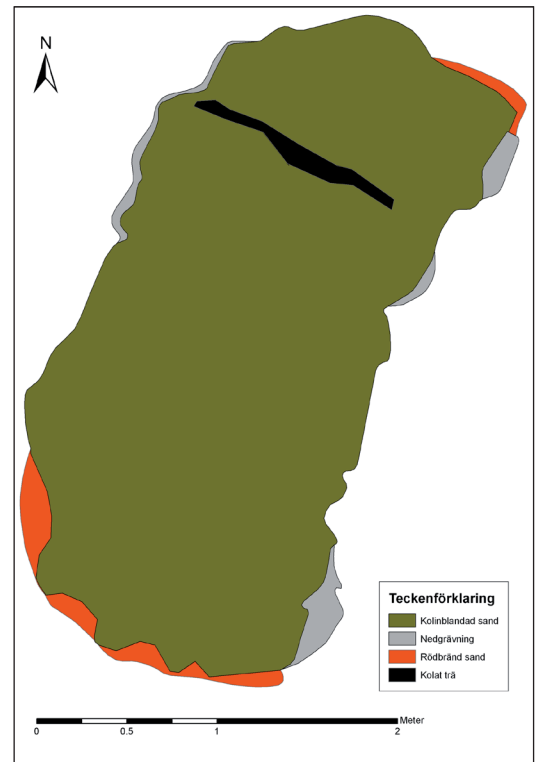
Anläggningsbeskrivningar

UN1 Kolningsgrop

Form i plan: Rektangulär med avrundade hörn. Oregelbunden i N kortsidan, troligen p.g.a. omgrävning av gropen vid en andra kolningsomgång.

Storlek i plan: 2,4–2,8 x 1,8–2,0 meter (NNO-SSV).

Beskrivning i plan: Fläckar av rödbränd sand längs södra ytterkanten. Nedgrävningskanter för gropen tydliga i NV, NO, SO i form av mörk sand utanför den kolinblandade sanden. En förkolnad stock ligger tvärs över gropens N del.



UN1 i plan.

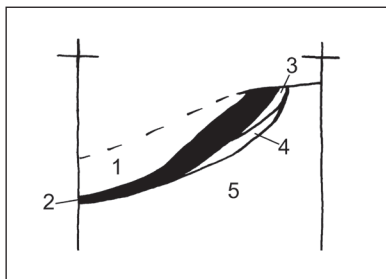
UN2 Kolningsgrop

Form i plan: Kvadratisk med avrundade hörn.

Storlek i plan: 2 x 2 meter.

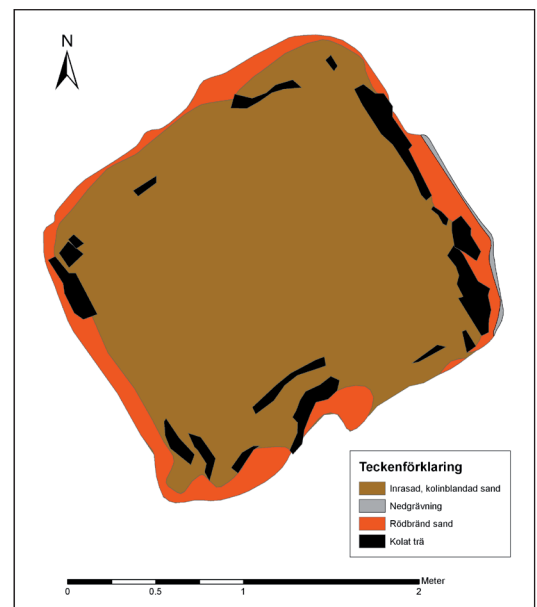
Beskrivning i plan: Ett ca 0,10 meter brett band av rödbränd sand längs ytterkanterna. Nedgrävningskant kan anas i N sidan i form av ett 0,05 meter brett band av mörkare sand utanför den kolinblandade sanden. Då ytan rensats syntes tydligt kolade stockar i hörn och längs sidorna.

Form i profil: Plan botten. Nedgrävningskanterna är tvära till något avrundade.

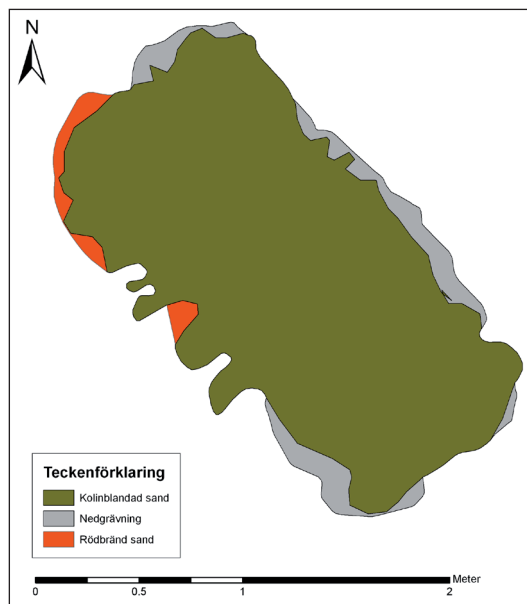


UN2 i profil.

1. Inrasad sand, något kolbemängd.
2. Kollins, hela stockar och mindre bitar, lite sand.
3. Mörkbrun sand.
4. Röd, eldpåverkad, sand.
5. Ljus-beige sand.



UN2 i plan.



UN3 Kolningsgrop

Form i plan: Rektangulär med något avrundade hörn.

Storlek i plan: 1,4 x 1,0–1,1 meter (NV-SO).

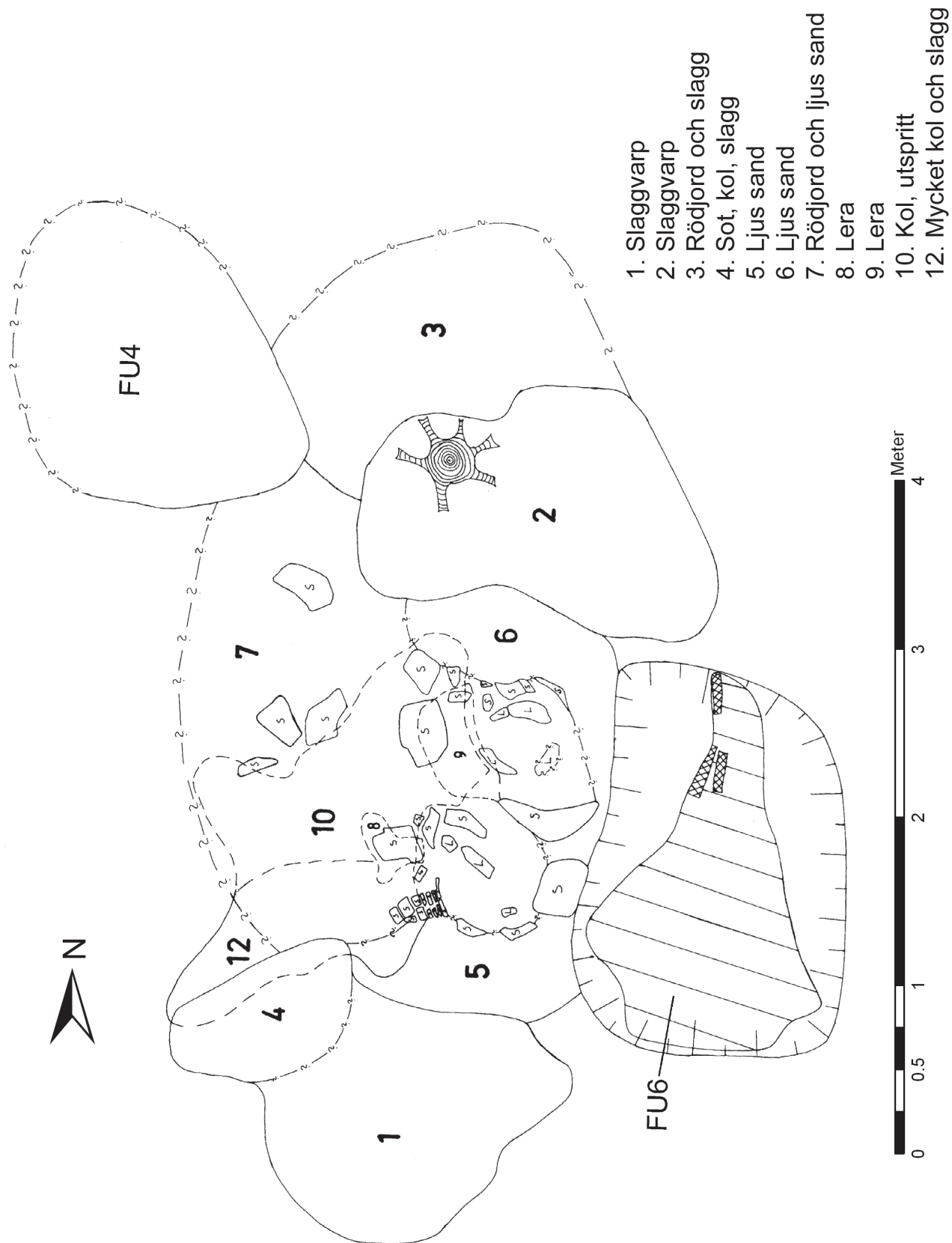
Beskrivning i plan: Avtryck av stockar syns i S sidan. Längs kanterna syns bitvis ett 0,05–0,15 meter brett band av rödbränd sand. Nedgrävningskanter syns troligen i form av mörkare sand utanför den kolinblandade sanden.

Form i profil: Plan botten. Nedgrävningskanterna gick ej att bedömma. Ingen rödbränd sand i botten.

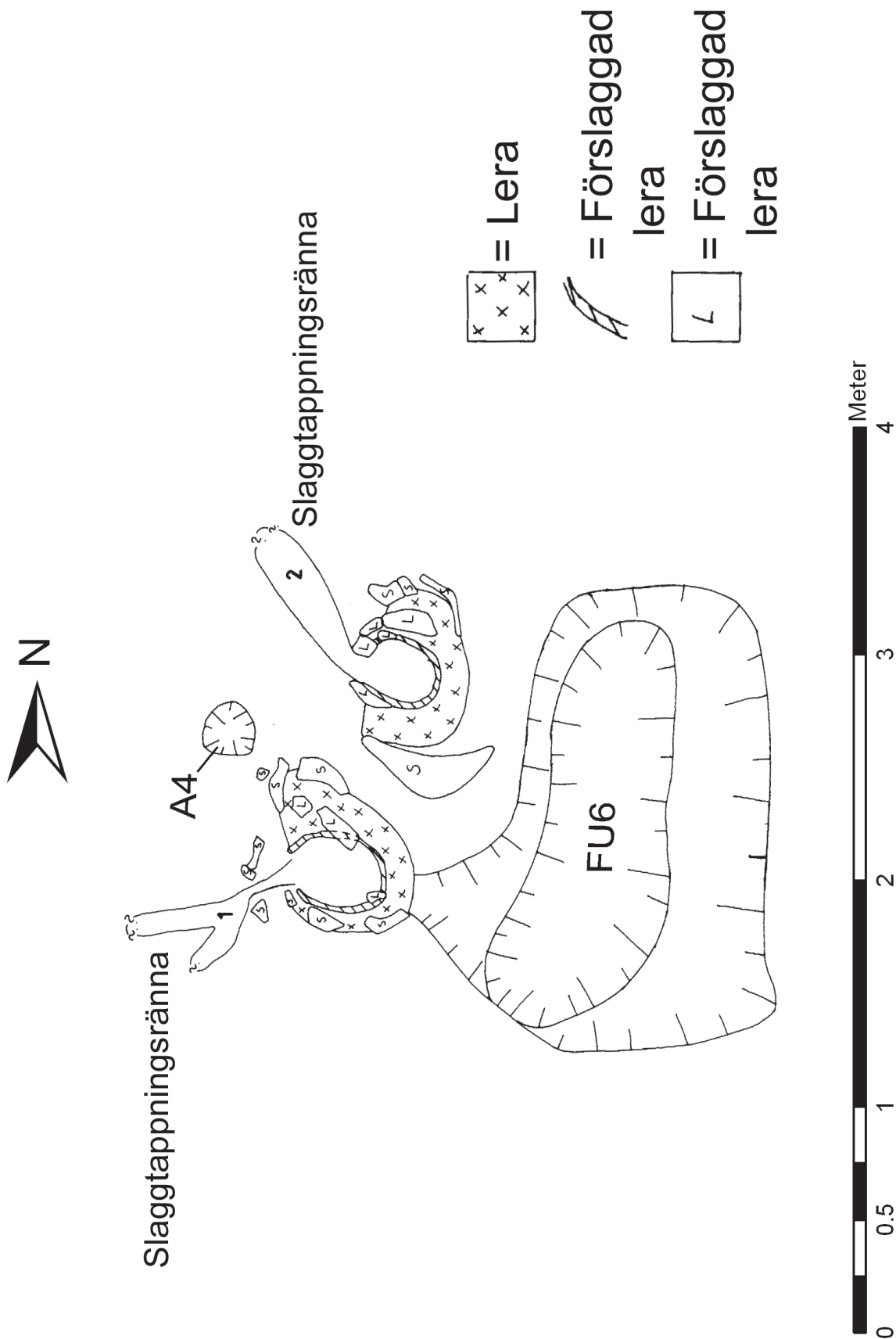
Samtliga ¹⁴C-dateringar från kolningsgropar och slagghvarp från AU, FU och UN.

Anläggning	Placering	Lab.nr.	Material	14C-ålder BP	Kal. 1 sigma	Sannolikhet	Kal. 2 sigma	Sannolikhet
AU2 Kolningsgrop	Osäker	Ua-16902	Tall	630±80	1300–1400 e.Kr.	68,2 %	1250–1440 e.Kr.	95,4 %
AU4 Kolningsgrop	Osäker	Ua-16901	Tall	650±75	1290–1400 e.Kr.	68,2 %	1250–1430 e.Kr.	95,4 %
FU1 Kolningsgrop	Osäker	Ua-18284	—	925±65	1020–1180 e.Kr.	68,2 %	990–1250 e.Kr.	95,4 %
UN2 Kolningsgrop	Botten	Ua-19126	Tall	965±50	1010–1070 e.Kr. 1080–1160 e.Kr.	28,8 % 39,4 %	980–1190 e.Kr.	95,4 %
Slagghvarp	Slagghklump	Ua-19251	Tall	950±35	1020–1070 e.Kr. 1080–1160 e.Kr.	25,6 % 42,6 %	1010–1190 e.Kr.	95,4 %
FU6 Grop med kol	Strax Ö om slagghvarpet	Ua-19253	Tall	845±30	1160–1245 e.Kr.	68,2 %	1060–1090 e.Kr. 1120–1140 e.Kr. 1150–1280 e.Kr.	2,9 % 3,2 % 89,3 %
Spår av planka	S om ugnsschaktet i S	Ua-19254	Tall	960±30	1020–1050 e.Kr. 1080–1160 e.Kr.	21,7 % 46,5 %	1010–1160 e.Kr.	95,4 %
N ugnen	Slaggtapp- öppning	Ua-19252	Tall	1070±30	900–920 e.Kr. 960–1020 e.Kr.	15,5 % 52,7 %	890–930 e.Kr. 940–1030 e.Kr.	22,3 % 73,1 %
N varpet	Botten	Ua-19125	—	935±50	1030–1160 e.Kr.	68,2 %	1010–1220 e.Kr.	95,4 %

Första rensningen.



6:e rensningen.



Fyndnr	Sakord	Material	Antal	Vikt g	Kontext	Kommentar
1	Järnslag	Järnslag	9	747	I slagghvarp	Slagg från ugnrensning
2	Ugnfragment	Bränd och förslagen lera	2	1062	N ugnsschaktet	Stod i ugnsschaktet
3	Ugnfragment	Bränd och förslagen lera	1	30	I slagghvarp	—
4	Tappslag	Järnslag	3	218	I slagghvarp	Slagg från slaggtappningsrännor
5	Blästmunstycke	Bränd och förslagen lera	1	47	I slagghvarp	Fragment av blästmunstycke

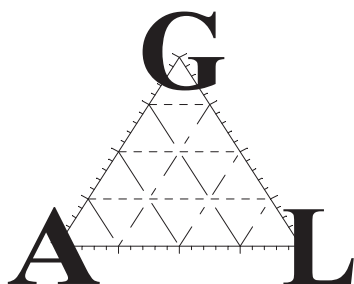
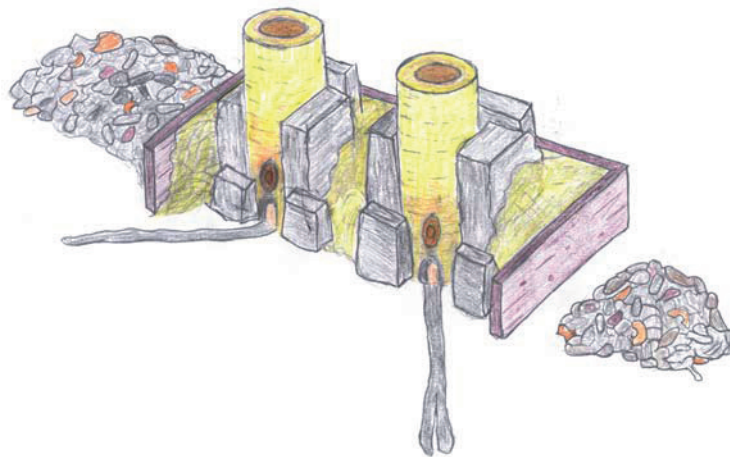


Riksantikvarieämbetet

GEOARKEOLOGI

Järnframställning i parblästa

Hedenstorp, Axamo
RAÄ 186, Sandseryds sn
Småland
Jönköpings län



Geoarkeologiskt Laboratorium

Analysrapport nummer 1-2002

Avdelningen för arkeologiska undersökningar
UV GAL

*Lars-Erik Englund
Lena Grandin*

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	2
ABSTRACT	2
INLEDNING	3
MÅL	3
METODER.....	3
ARKEOLOGISK METOD	3
OKULÄR KLASSIFICERING	3
ANALYTISKA METODER	4
<i>Petrografi och metallografi.....</i>	<i>4</i>
<i>Mikrosondanalyser.....</i>	<i>5</i>
<i>Totalkemiska analyser.....</i>	<i>5</i>
BAKGRUND	6
FÄLTARBETE	8
FRÅGOR	8
DOKUMENTATION OCH TOLKNINGAR.....	8
LABORATORIEARBETE	15
REGISTRERING, ARKEOLOGISK KLASSIFICERING OCH ANALYSER	15
<i>Petrografiska analyser.....</i>	<i>24</i>
<i>Mikrosondanalyser.....</i>	<i>24</i>
<i>Totalkemiska analyser.....</i>	<i>25</i>
REKONSTRUKTION	30
UGNARNA	30
PROCESSEN	30
RÅVAROR, PRODUKTER OCH AVFALL.....	31
<i>Malm</i>	<i>31</i>
<i>Slagg</i>	<i>31</i>
<i>Järn</i>	<i>32</i>
TABELLER.....	35
REFERENSER.....	37
BILAGOR.....	39
TERMINOLOGI	39
ALLMÄNT OM ANALYSER AV ARKEOMETALLURGISKA MATERIAL	40
ANALYS- OCH FORSKNINGSRAPPORTER FRÅN GEOARKEOLOGISKT LABORATORIUM.....	45
<i>Analysrapporter</i>	<i>45</i>
<i>Forskningsrapporter</i>	<i>52</i>

Sammanfattning

Lars-Erik Englund, GAL, har på uppdrag av Ann-Marie Nordman, Jönköpings länsmuseum, deltagit i fältundersökningen av en parblästa vid Hedenstorp, nära Axamo, Sandseryds sn, Småland, Jönköpings län. Undersökningen föranleddes av utbyggnad av ett industriområde vid Hedenstorp. Den arkeologiska undersökningen omfattade en parblästa bestående av två stycken blästugnar i gemensam konstruktion, två slaggvarp, ett på vardera sidan om ugnarna, två rostningsplatser samt fyra kolningsgropar. GAL deltog endast i undersökningen av ugnar och slaggvarp. Jönköpings länsmuseum undersökte övriga anläggningar och svarade för all fältdokumentation (plan- och sektionsritningar, inmätningar, fotografering). GAL beskrev ugnarna i skrift, tolkade och rekonstruerade dem samt tog de fotografier som används i föreliggande rapport.

Parugnarna är av samma typ som tidigare undersökts i området, exempelvis i samband med undersökningar för Axamo flygplats. De var små, 0,3–0,4 m i invändig schaktstorlek och partiellt bevarade till en höjd av 0,3 m. Schakten omgavs av en decimetertjock ovalcyindrisk pipa av lera. Ugnarna tappades på slag under drift, vilket både tapprännor utanför ugnarna och typiskt rännformad tappslag i slaggvärpen understryker. Ursprunglig höjd uppskattas ha varit 0,8 m, bland annat med hänsyn till äldre undersökningar och till nödvändig genomgångstid för malm. Lerpiporna stöttades/omgavs av stående stenhällar. Utanför hällarna fanns ett isolerande lager med mosand som sannolikt hölls på plats av stående plankor. Slaggvärpen innehöll förutom tappslag, bottenskållor, sprutslag, vägg- och munstycksfragment även så kallade grompar, dvs klumpar av obearbetat slagghaltigt järn. Med hjälp av dessa avfallsprodukter ser vi spår efter tillverkning av mjukt järn, fosforförande järn och kolstål vilka är användbara till olika ändamål. Smeden har sannolikt reglerat processen i ugnen för att kunna tillverka järn med olika materialegenskaper vilket också innebär att ugnarna varit konstruerade för att motstå höga temperaturer.

Abstract

Lars-Erik Englund, GAL, has by commission of Ann-Marie Nordman, Jönköpings länsmuseum, participated in an excavation of a bloomery iron making site at Hedenstorp, Sandseryd parish, province of Småland, county of Jönköping. The excavation was caused by the extension of an industrial area. The bloomery comprised paired furnaces in a joint casing, two slag heaps, one on each side of the furnaces, two roasting places and four charcoal pits. GAL participated only in the excavation of furnaces and slag heaps. The provincial museum excavated all remains and made all the field documentation (plan- and section sketches, photographs). GAL described the furnaces in writing, interpreted and reconstructed them, and took the photographs that are used in this report.

The paired furnaces were of the same kind as several previously excavated in the area, e.g. for the construction of Axamo airport. They were small, 0.3–0.4 metres in internal shaft size, and partially preserved to 0.3 metres height. An oval-cylindrical (no tapering identified) and 0.1 metres thick shaft wall of clay surrounded the shafts. Slag was tapped in small chutes during iron making. This is exemplified both by chutes in the ground in front of the furnaces and by typically shaped tap slag in the slag heaps. Original height of the furnaces is estimated to 0.8 metres, regarding earlier excavations, and expected residence time for the ore. Stone slabs standing on edge supported the clay shaft walls. Outside the stones was an isolating layer of fine sand that was kept in place, as it seems, by planks standing on edge at three sides. Tap slag, slag bottoms, spherical slag scales, fragments of wall- and mouthpieces of burnt clay was the material of the slag heaps, as well as lumps of unworked iron with various concentration of slag inclusions. The waste material indicates that soft iron, iron with phosphorus content, and carbon steel all with various applications was produced by a smith who probably intentionally regulated the process to obtain products of numerous qualities in furnaces constructed to resist high temperatures.

Inledning

Uppdraget innebar dels fältdeltagande under en vecka för Lars-Erik Englund, dels efterarbete i form av bearbetning, beskrivning, tolkning och rekonstruktion av Englund samt fördjupade analyser av insamlade materialprover av Lena Grandin.

Mål

Att ge synpunkter på arkeometallurgin i det undersökta området, att klassificera provurvalet, att diskutera verksamhetstyper, processer, omfattning och datering samt att genomföra fördjupade analyser för att öka säkerheten eller avslöja felaktigheter i den okulära klassificeringen.

Analyserna avser att bl a belysa slaggernas sammansättning och eventuella relation, vilka processled som är representerade inom området, hur väl framställningen fungerat, om processen varit reproducerbar och vilka järnkvaliteter som eftersträvades.

Analysresultaten integreras med utgrävningsresultaten till en sammanfattande beskrivning över järnframställningens omfattning. Resultaten ligger också till grund för en rekonstruktion av (den påträffade) ugnens utseende i drift och ett försök till processbeskrivning.

Metoder

Arkeologisk metod

Rapportens arkeologiska del genomförs i tre principiella steg:

- Beskrivning av fakta och värdering av deras tillförlitlighet, inklusive de mätdata och iakttagelser som förefaller vara fakta.
- Tolkning av detaljer i byggnadsmaterial (t ex stenar, brända lerfragment) och restprodukter (slagg m m) till någonting processtekniskt rimligt.
- Genom inter- och extrapolering av tillgängliga data och tolkningar (från smedens val av ugnstyp till bottenkällan av slagg) försöka ge en från praktiska och processtekniska utgångspunkter rimlig beskrivning av hur ugnen såg ut och fungerade i drift.

Ju mera kvalitet under första punkten, desto säkrare rekonstruktionsförslag och färre alternativa lösningar. Rekonstruktionsarbetet följer inte mallen slaviskt men grundprincipen är klar, sättet att tänka och att studera anläggningsrester och fynd, liksom att tolka närvaro eller frånvaro av konstruktionsdetaljer.

Okulär klassificering

Okulär klassificering innebär att i fält med hjälp av ögon och erfarenhet, i laboratoriet med hjälp av stereolupp, magnet och vid behov sågning, bilda sig en preliminär uppfattning om materialets (främst ugnsrester, malm, slagg och metall) karaktär, dess tidsställning samt att indela det i kategorier och typer, i den mån detta låter sig göras. Resultatet är beroende av materialets omfång, kvalitet och representativitet.

Okulär klassificering av slagg bygger på några enkla men grundläggande metoder. Första steget innebär identifikation av det arkeometallurgiska materialet samt indelning i olika materialkategorier, som t ex malm, ugnsrester, järn och slagg. Nästa steg, klassificeringen, syftar till att särskilja olika konstruktionselement i anläggningarna (till exempel blästugnar, smideshårdar och dylikt) och slaggtyper från olika processer. GAL brukar skilja på fyra processer som ger slagg:

- Reduktion
- Omsmältning
- Primärsmide
- Sekundärsmide

Processerna ger upphov till en lång rad slaggtypen, dels inom ramen för en och samma blåsning, dels mellan olika blåsningar och också mellan olika framställningssätt. Vissa slaggtypen uppkommer vid bearbetning av järnet. Klassificeringen går således ut på att identifiera slagg som man genom analogislut kan hänföra till en process eller till ett arbetsmoment. För att nå ett ställningstagande studeras slaggen med avseende på:

- Storlek
- Form
- Färg
- Porstorlek och porantal
- Grad av flutenhet
- Vikt
- Densitet
- Magnetism
- Ved- och/eller träkolsavtryck

I samband med registreringen anges enskilda bitars magnetiska egenskaper i följande skala: Omagnetisk (inget svar alls på magneten), lätt magnetisk (magneten drar i biten dock utan att den fastnar), magnetisk (biten fastnar och följer magneten, det vill säga släpper från underlaget) och kraftigt magnetisk (så hårt, eller nästan så hårt som järn fastnar vid en magnet).

Lerfragment studeras med avseende på:

- Sammansättning (material, magring)
- Grad av förglasning
- Andelen vidhäftande slagg
- Bevarad kurvatur

Analytiska metoder

Petrografi och metallografi

Av tre av slaggerna tillverkades polerade tunnslip. Av fyra järnstycken ("grompar") tillverkades polerprov. Petrografiska undersökningar utfördes i genomfallande (tunnslip) och påfallande (tunnslip och polerprov) planpolariserat ljus för att identifiera materialets olika komponenter och texturella drag. Metallografiska undersökningar utfördes på järnstycken för att identifiera järnets olika texturer, beroende på kemisk sammansättning och bearbetningssätt. Dessa prover etsades med 2% nitallösning för att observera kolinnehåll och hur det är fördelat. Även fosforinnehåll kan observeras. Undersökningarna genomfördes i ett Leitz Ortholux II polarisationsmikroskop.

Mineral som vanligtvis bygger upp slagger från järnframställning och smide presenteras i detalj i bilaga 2. I samma bilaga beskrivs även järnets olika sammansättningar och egenskaper samt bildningsförhållanden. Här följer dock en kort presentation av de mineral som förekommer i de studerade slaggerna.

Slaggerna består huvudsakligen av olivin, wüstit och glas. Några innehåller magnetit och metalliskt järn. *Olivin* är ett silikatmineral med den allmänna formeln A_2SiO_4 , där A oftast är järn (fayalitisk sammansättning) men mangan, magnesium och kalcium kan förekomma i mindre mängder. *Wüstit*, FeO , är också ett mycket vanligt inslag i slagger från blästbruket. Om höga koncentrationer av wüstit förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög. Liksom i olivin kan mangan ersätta järn i wüstit. *Magnetit*, Fe_3O_4 , kan förekomma i stället för wüstit om temperatur och/eller syretryck är högre, det betyder att magnetit generellt uppträder i smidesslagger och wüstit i reduktionslagger men avvikelser från detta är inte ovanligt. *Glas* utgör slaggernas "restsmälta" och kan därför variera kraftigt i sammansättning beroende på vilka mineral som tidigare kristalliserat, slaggernas totalsammansättning och avkylningsförlopp. Droppar av *metalliskt järn*, några mikrometer stora, är också vanliga inslag i slagger från reduktionsprocessen. *Limonit*, järnhydroxider med varierande sammansättning, är huvudkomponent i sjö- och myrsmalm och kan uppträda i slagger som oreducerade rester men vanligtvis förekommer limonit som en sekundär bildning, dvs i form av rost.

Mikrosondanalyser

Elektronmikrosondanalyser används på ett urval av de petrografiskt och metallografiskt analyserade fynden för att få en mer detaljerad bild över deras kemiska sammansättning. Metoden innebär att en elektronstråle fokuseras på önskad punkt. Den reflekterade röntgenstrålningen relateras till ett referensprov med känd sammansättning. På detta sätt får man kvantitativa data över sammansättningen av de olika komponenterna i materialet.

I slaggerna analyseras varje fas (olivin, wüstit, glas osv) separat, dvs en punkt (2µm i diameter) analyseras. Analysresultaten presenteras i sin helhet i tabellform och återges som oxider enligt konventionellt system. I löptext beskrivs resultaten för enkelhets skull som element och i förekommande fall återges korresponderande oxid i viktsprocent inom parantes.

I järnfynd används också punktanalysmetoden. I finkornigt material är det dock ofta inte möjligt att analysera faser som ligger i kornkontakter. Kol kan inte heller detekteras med den använda elektronmikrosonden men ett eventuellt kolinnehåll i järnföremålen framgår indirekt av resultaten i form av en relativt lägre järnhalt. Elektronmikrosondanalyserna kan vidare avslöja andra ämnen som förekommer i metallen som kan vara svåra att upptäcka i en metallografisk undersökning.

Elektronmikrosondanalyserna genomfördes med Cameca-instrumentet vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, på två slaggar och tre grompar.

Totalkemiska analyser

Totalkemisk analys utfördes på två slaggprov, ett lerprov och en möjlig malm hos SGAB Analytica, Luleå. Använd analysmetod är ICP-AES för huvudelement och ICP-QMS för spårelement. Totalt analyserades 47 element i varje prov. Allmän information om totalkemiska analyser finns i bilaga 2.

Såväl de huvudsakliga komponenterna som ämnen förekommande i mycket låga halter ingår i analysprogrammet. Dels kan använd malmtyp karaktäriseras dels kan järnframställningens utbyte uppskattas om både slagg och malm finns från ett område. Analysen kan också ge besked om en eller flera malmer använts inom ett järnframställningsområde och om processen styrts i olika riktningar för att få olika slutprodukter.

Bakgrund

Järnframställning inom Sveriges nuvarande gränser har pågått i närmare 3000 år. Arkeologerna antar numer att järnframställningen började som någonting exklusivt hos bronsmederna under bronsåldern, cirka 1000 år före Kristi födelse (Hjärthner-Holdar 1993). Tillverkningen av järn i små blästugnar har huvudsakligen varit baserad på jord-, sjö- och myrmalmer. I liten utsträckning har sannolikt även bergmalmer använts men de är i första hand att förknippa med tackjärnsframställning i masugnar. Blästbruket pågick med oförminskad styrka ända in på 1700-talet i våra marginalbygder och upphörde inte förrän på 1800-talet.

Föreliggande rapport behandlar en speciell ugnstyp och framställningsmetod som var vanlig i Västsverige mellan 800-1350, det vill säga från vikingatidens inträde fram till digerdöden. Inom detta avgränsade område har det funnits andra typer av blästugnar från tider före vikingatiden (se t ex Nihlén 1932, 1939, Furingsten 1984, Särilvik 1975, Strömberg 1991, Ryberg 1993). Efter digerdöden förefaller blästbruket i stort sett ha upphört. Det finns framför allt tre stora områden där den så kallades parugnstekniken är företrädd. Ett område ligger i före detta Skaraborgs län med tyngdpunkten i socknarna Lerdala och Vättnäs. Här har makarna Elisabet och Mac Key gjort omfattande insatser, främst vad gäller lokaliseringen av ett stort antal blästor (Key 1976, 1979, 1983a, 1983b, Millberg 1981). Ett par av platserna har undersökts arkeologiskt av P-O Millberg och G Magnusson (1981, 1983, Magnusson 1984, 1985a, 1985b, 1985c samt Jonsson, Magnusson & Millberg 2001).

Det andra stora området ligger centralt i Kind, före detta Älvsborgs län, med tyngdpunkten i socknarna Tranemo och Örsås (Holmberg m fl 1984, 1985, Englund 1985, 1986, 1989, 2002, Knutsson 1987).

Det tredje stora och i föreliggande rapport aktuella området ligger ej långt från Smålands Taberg, Jönköpings län, med tyngdpunkter i Sandseryds och Månsarps socknar, framför allt på moarna Åsamon och Axamon (Löthman 1988). Omfattande inventeringar gjordes under slutet av 1970-talet av medlemmar ur "Bergstinget" (Gustavsson 1976, 1979, 1982, 1984) som följdes upp med undersökningar på ett par utvalda platser (Thålin-Bergman 1976, 1979, 1985a, 1985b). Under senare delen av 1980-talet har omfattande undersökningar företagits av Jönköpings museum på Axamon, i samband med flygplatsutbyggnaden (Varenius 1987, 1990, Björck 1991, Nordman 1994).

Parugnstekniken finns dessutom företrädd i några mindre områden, främst i Nissans dalgång i trakterna av Nissafors i Småland, i Tvååker-Sibbarp i norra Halland (Magnusson & Strömberg 1999), och i Älgårås i norra Västergötland (Millberg 1985). Veterligen finns ugnstypen inte företrädd öster om Vättern, i östra Småland eller inom svearnas huvudområden.

Parugnar med slaggtappning har kontinentala förebilder. Utmärkande för parugnarna är den parvisa grupperingen av ugnsschakten. Ugnsschakten är jämförelsevis små vilket har både tekniska och organisatoriska fördelar jämfört med de äldre ugnstyperna. Små schakt med trånga ställen ger lokalt mycket höga temperaturer. Tappning av flytande slag möjliggjordes. Blästorna har, trots senare överväxning, ett karaktäristiskt utseende som betingats av arbetsrutinerna. Arkeologerna och de inventerande hembygdsforskarna kan därför ganska säkert skilja ut denna typ av blästa, från andra, utan närmare undersökning. Ett säkert kännetecken är att så kallad tappslag uppträder rikligt i slaggarven. Ett annat nästan lika säkert kännetecken är att det alltid finns några kolningsgropar till varje blästa.

Efter vad som kan förstås för närvarande ersatte parugnen enkelugnar som hade en underliggande uppsamlingsgrop för slag. Dels av en typ som förekom i bland i batterier med flera ugnar i rad (Särilvik 1975), dels av en typ som brukar kallas stenramsugnar, till exempel Esungaunnen (Nihlén 1932, Johansen 1985). De drevs till en början möjligen med finkluven ved. Det är tänkbart att det var träkolning och användandet av träkol i processen som framkallade en ny ugnstyp. Alternativt importerades både kolningstekniken och ugnstypen från sydvästra Europa (jfr Englund 2002). Efter digerdöden märks en återgång till vedeldade ugnar i

de områden där blästbruket fortsatte, i Småland, södra Halland, norra Skåne, norra Värmland, Västerdalarna, Härjedalen, södra Jämtland och västra Medelpad. Den historiska tidens vedugnar har i stort antal varit nergrävda i en slänt medan parugnarna huvudsakligen var uppbyggda ovan mark.

I princip kan vi tala om två huvudtyper av blästugnar: gropugnen och schaktugnen. I den förra blåstes luft genom formor lagda utmed gropsidans kant ner mot gropens botten. Den senare erhöll luft via formor genom schaktväggen i schaktets nedre del. Schaktugnen har funnits i tre varianter med hänsyn till slaggavskiljningen, dels slagguppsamling i underliggande grop, dels slaggtappning till en position utan för ugnen och dels horisontell slaggsparering i stället, dvs slaggen samlades runt omkring smältan. Man kan också tala om en fjärde variant i de fall ingen separation har skett, dvs smeden fick rensa fram det metalliska järnet genom kallbearbetning av en slaggrik smälta med påföljande omsmältning och hopvällning av järnstyckena (Englund 2002:263).

Förändringarna inom blästbruket skedde inte likformigt och samtidigt. Vissa ugnstyper uppträder inte alls i vissa områden. Andra blev särskilt långlivade där traditionen var obruten eller utvecklingen hindrad av andra skäl. Starkt förenklat kan vi se utvecklingen i dessa fyra grundtyper. Den enkla gropen utgör i en processuell tanketradition ursprungsformen, eventuellt föregången av framställning i deglar över öppen härd. Efter hand insåg man nyttan med att ställa ett schakt ovanför gropen. På så sätt minskade värmeförlusterna till förmån för ett slaggfattigare järn. Genom att ändra inblåsningsvinkel kom reduktionen att ske högre upp i schaktet och gropen övergick till att bli uppsamlingsgrop för slagg. Genom att minska schaktstorleken och övergå till träkol kunde man avstå från den underliggande gropen. Man lät i stället slaggen rinna ut i en framför ugnen liggande grop eller ränna. Återgången till ved kanske var betingad av konkurrensskäl i förhållande till den träkolsbaserade masugnen. Kolning innebär en betydande arbetsökning och fördyring av blästjärnet och uppenbarligen var träkol ej absolut nödvändigt för järnets kvalitet. Det enda säkra vi vet om gropugnar är att de har använts på 1900-talet i Afrika. Det är därför inte givet att det enklaste också ska förstås som det äldsta.

Fältarbete

Frågor

Frågeställningarna styrdes av anläggningarnas bevaringstillstånd. Undersökningsfrågorna, för GAL:s vidkommande, har koncentrerats till de tekniska lösningarna.

- Hur kan ugnen ha sett ut i drift?
- Hur har den anlagts och av vilka material?
- Vilka råvaror användes i processen?
- Hur löste man luftförsörjningen?
- Hur stor var järnproduktionen?
- Kunde smeden kontrollera, reproducera och manipulera processen?
- Hur förhåller sig ugnstypen till nationella och internationella samtida ugnar?

Frågorna är grundläggande och allmänt hållna men nödvändiga för att ringa in ugn- och processtyp, i varje fall med avseende på förväntad grundtyp. Variationer i ugnsgesamt, driftsätt osv är svåra att fånga upp med förformulerade standardfrågor. Fler frågor ställs till materialet i diskussions- och tolkningsavsnitten. De utgår mer från de specifika förutsättningar som materialgenomgång och tolkningar erbjuder.

Dokumentation och tolkningar

I det följande provas att ge tolkningarna i direkt anslutning till den skriftliga dokumentationen, dels för att undvika en stor notapparat, dels för att underlätta för läsaren att följa tankegångarna. Eftersom det är viktigt att skilja på dokumentation och tolkning anges tolkningarna i detta avsnitt med avvikande typsnitt.

Vid arbetets början hade läns museet torvat av stora ytor runt själva ugnsplatsen med slaggvarpet, dokumenterat två närliggande rostningsplatser (fig 1) och fyra kolningsgropar (fig 2) i blästans omedelbara närhet (inom 50 m). Slaggvarp och ugnar hade avtorvats ytligt i avvaktan på GALs medverkan sista fältarbetsveckan. Hela anläggningen, med ugnar, isolering och slagg, var långsträckt, ca 5×3 m stor och välvde sig lågt över den ursprungliga markytan. Några på kant stående, ca 0,4 m höga och skadade stenar markerade begränsningarna för de båda ugnsschakten, vars centrumpunkter bedömdes redan i detta tidiga skede av undersökningen vara tämligen exakt 1 m från varandra. De båda med stenflisor förstärkta piporna omgavs synbarligen av en fyllning bestående av mosand, ca 2,2×1,5 m stor.

De båda schakten föreföll vid ett första intryck kunna vara tämligen runda med en inre diameter på ca 0,33 m. 50-100 mm tjock smält och delvis förslaggad lera stack upp i de västra schaktväggarna. Stenflisorna stod ca 100 mm utanför den uppstickande förslaggnings. Mellan förslaggningsarna och flisorna iaktogs lera som närmast kunde beskrivas som varken bränd eller obränd, men värmepåverkad. Det ca 0,2 m stora området mellan respektive ugn stenflisor bestod av ljus mosand. Slaggen var närmast pryddligt upplagd i respektive kortända, något mera slagg söderut än norrut. Öster om ugnarna fanns en grop med oregelbunden form, ca 2×1 m stor och 0,3 m djup. Något på skrå i gropen fanns en sotfläck med två skarpa hörn i söder, 1 m skilda från varandra. Fläcken smalnade av mot norr, var här 0,5 m bred och tycktes förlora sig i gropens sidor. Detta var läget när GALs deltagande inleddes.

Vid de fortsatta rensningsarbetena visade sig ett ca 2×1 m stort område intill och väster till nordväst (i riktning mot de båda rostningsplatserna) om ugnarna vara kraftigt rödjordsinblandat. Det förefaller nästan som om en hel del rostad rödjord har tappats i detta område vilket kan tolkas så att det var här smeden stod när han chargerade ugnarna. En rostningsplats ligger några meter nordväst om den norra ugnen, dvs den närmaste vägen mellan rostningsplatsen och ugnarna passerar området med den kraftiga malminblandningen. De båda slaggvarpen var skarpt avgränsade mot mosanden som omgav ugnarna. I norr med en skarp rak gräns och söder dessutom med ett meterlångt rakt kol-

färgat streck i mosanden (fig 3). De skarpa avgränsningarna i norr och söder mot slaggsvarpen, liksom att mosanden nära båda piporna nådde högre än varparna talar för att smeden isolerade ugnarna utanför stenflisorna med just mosand. De skarpa kanterna talar för att någonting, kanske en plank, höll mosanden på plats och kom så småningom att utgöra skiljet mellan sanden och slaggen. Sotranden utmed den södra kortsidan kan vara spår efter en plank. Men även den skarpa kanten mellan sand och slagg utmed den norra kortsidan skulle knappast ha uppkommit utan en skiljande vägg. Klara tecken på plankor utmed långsidorna saknas, men av praktiska skäl bör det ha stått en åtminstone bakom ugnarnas blåsväggar. Längs formsidorna är det mindre sannolikt med en plank eftersom smeden behövde ha åtkomst till både slaggtappningshålen och till luftintagen som antas ha varit belägna här. En del obränd lera iakttogs framför och mellan ugnarna, utanför respektive pipa, men innanför positionen för en hypotetisk plank. Det förefaller inte osannolikt att leran här hjälpte till att hålla ihop anläggningen på den här sidan.

I slaggsvarpen, särskilt i det södra, kom några sot- och kolfläckar. Den största kol- och sotfläcken var 0,8×0,6 m stor och påträffades ca 1 m sydsydväst om den södra ugnen, en annan var ca 0,7×0,3 m stor och låg ca 1 m västsydväst om den södra ugnen. När man rensar en blästugn i samband med experimentell järnframställning är det inte ovanligt att glödande kol och aska lyfts ut och läggs någonstans dit skopan når, vanligtvis inom någon eller några meter från där man står, dock på så sätt att man inte behöver kliva i det. Sotfläckarna i varpet tolkas därför som tecken på ugnrensning. Slaggsvarpen är för övrigt förhållandevis rena från kol, vilket beror på att den tappade slaggen inte drog kol med sig ut i rännorna. Lite märkligt är det att slaggen från rännorna lyftes "tillbaka" upp på varparna och inte rakades rakt västerut, längre ner i slänten, som bruket var på flera håll under äldre järnålder.

Ugnarnas pipor bestod av decimetertjock lera, stöttade på utsidan av de tidigare omtalade på högkant stående stenflisorna (fig 4). Delarna eller lagren närmast schakten var hårdare brända och i de få fall bevarade ytor satt kvar i ursprungligt läge (främst i blåsväggen i öster) var dessa smälta och lätt förslaggade intill ett djup av högst 10 mm. I exempelvis Tranemo, där tillgången på sten var bättre men tillgången på lera sämre än i Hedenstorp, har lera kommit till användning endast vid infodring av pipans stenar. Där påträffas också infodringsfragment i slaggsvarpet, dvs fragment som är förglasade på insidan och inte sällan rödbrända på utsidan därför att infodringen spruckit och luft kommit in på baksidan. I Hedenstorp iakttogs två typer av tunna lerfragment. Dels de som satt i ursprungligt läge i blåsväggen. Dessa var smälta in mot schaktet men i den mån de satt kvar utgjorde de fortfarande delar av den decimetertjocka pipan. I detta fall kan man inte tala om lerinfodring, hellre då om att lerpipans sida in mot schaktet blivit smält. Dels fanns också tunna fragment med rödbränd utsida. Hur dessa ska tolkas är oklart. Det kan vara fråga om en under körning vittrande pipa. Det skulle också kunna vara rester efter en infodring. Det enda ställe en eventuell infodring skulle kunna komma från är i så fall från en sten i formväggen ovanför blästerintaget. Några bevis eller indicier för en sådan saknas. Å andra sidan brukar formväggarna (alltid) vara utrivna eller raserade när arkeologerna får tillfälle att undersöka dem närmare. Formsidan, med både luftintag och tappränna, utgör den svagaste konstruktionsdelen i blästugnar.

I slaggtappningssidan, i väster, har en större andel av leran smält och förslaggats. Detta beror på att det är varmast direkt innanför luftintaget. Lera i ugnar använda vid experimentell järnframställning smälter allra mest ovanför luftintaget men också i de närliggande sidorna på samma nivå, medan blåsväggen blir rödbränd, eventuellt lätt förglasad. I den norra ugnen var den kvarsittande smälta/förslaggade leran, 100 mm ovanför slaggtappningsrännans botten och på ömse sidor om rännan där det inte fanns någon lera alls, 90 respektive 100 mm tjock. I den södra ugnen satt det kvar ett 90 mm tjockt lerväggsfragment 200 mm ovanför och norr om slaggtappningsrännans botten.

Den södra ugnens schakt visade sig ha oregelbunden planform, med lite dragning åt det ovala, måhända sekundärt intryckt i den södra sidan (fig 5). 200 mm ovanför botten uppmättes 400×300 mm med största måttet mellan blåsväggen och formväggen, det mindre mellan sidoväggarna. Lerpipans yttre totala storlek var ca 0,60 m, dess tjocklek in mot schaktet var ca 100 mm. I den södra ugnens blåsvägg fanns det någon tunn förglasning kvar, ca 10 mm tjock. Schaktväggen var här lodrät eller en aning lutande utåt (det senare kan vara en följd av senare påverkan - även stenflisorna lutade omotiverat utåt vid undersökningstillfället). Närmast den förglasade leran, in mot schaktet, fanns en 20 mm tjock sotrand som markerade schaktets begränsning även där förglasad lera saknades. Fyllningen i schaktet bestod av en blandning av brända lerfragment (millimeterstora, rödbrända, ej glasiga, låg hållfasthet), slagg, kol, sot samt sotfärgad och malminblandad (röd) fet jord. I den södra ugnens botten, vid tappränns

myrning, fanns två små tvärställda stenar. De små tvärställda stenarna i den norra ugnen förbryllar något. Den ena förefaller kunna markera pipans inre begränsning, den andra dess yttre. Motsvarande stenar saknades i den södra ugnen men detta behöver kanske inte betyda något med tanke på att hela parugnskonstruktionen bedömdes vara kraftigt skadad vid undersökningstillfället.

Framför den norra av dessa stenar fanns ytterligare en sten, ställd nästan i samma riktning som tappprännen. Stenen som var parallell med tappprännen och som verkade stå i ursprungligt läge kan möjligen ha tjänat som stagsten för de innanför.

Den kvarvarande obrända men värmepåverkade leran i ursprungligt läge vägde totalt 47 kg, den brända och förglasade 1 kg.

Den norra ugnens schakt var 360×280 mm i största mått och tydligt ovalt formad i sitt nedersta parti (fig 6). Största måttet var mellan blås- och formväggarna. Den 20 mm breda sotranden fanns också här. Fyllningen i schaktet bestod av samma material som i den södra. I ugnsschaktets nordvästra kant satt ett lutande 50-70 mm tjockt delvis smält lerfragment. Reser man upp det blev den kvarvarande bevarade schakthöjden 0,3 m. Det är uppenbart att ett schakt med angiven diameter och höjd inte skulle fungera processtekniskt. Frågan är hur högt schaktet var ursprungligen, dvs i drift, eller vilken höjd som var den lägsta fungerande. Som schablonmässigt riktvärde brukar antas att en bälgriven ugn med cylindriskt schakt i höjd bör vara minst 2×diametern ovanför luftintaget för att fungera väl, dvs i detta fall ca 0,7 respektive 0,8 m höga. Utrymmet under blästintaget behöver från en processteknisk utgångspunkt inte ha varit mer än 0,1 m, men eftersom inget munstycke satt kvar i ursprungligt läge kan detta avstånd inte preciseras. Helt klart är att ju högre upp munstycket satt desto högre var ugnarnas totala höjd.

Lerpipans tjocklek i blås- och sidoväggar var ca 100 mm, dess bevarade höjd ca 100 mm. Lerpipans yttre totala storlek var ca 0,55 m. Den kvarvarande obrända men värmepåverkade leran i ursprungligt läge vägde totalt 31 kg, den brända och förglasade 5 kg. En hel del lera gick dock rakt igenom sållet. Ugnens/schaktets absoluta botten låg 50 mm under lerpipans botten. Båda schaktens bottnar var lätt skålformade och svagt lutande ut mot tappprännen. Under båda schakten var sanden rödbränd.

Tappprännen till den norra ugnen var rak, 850 mm lång, 100-150 mm bred och intill 50 mm djup. Bottenprofilen var lätt rundad, dvs på ca 20 mm höjd var bredden 7-10 mm. Riktningen ut från ugnen var nordvästlig. Tappprännen till den södra ugnen var till en början rak men delade sig Y-format efter 0,4 m. Huvudriktningen var sydvästlig. En gren sträckte sig i sydsydvästlig riktning, den andra i västlig. Totala längder var 0,75 m respektive 0,65 m. Den kortare till sydsydväst. Symmetrin var sådan att de båda tappprännen divergerade ut från ugnarna och från varandra. Genom att anlägga tappprännen på detta sätt skapades mera utrymme framför ugnarna (med ugnens framsida förstås här samma sida som formsidan).

Mitt emellan tappprännen fanns ett spetsigt stolphål, ca 200 mm i diameter och 130 mm djupt (70 mm i diameter på 110 mm djup). Stolpen kan möjligen ha tjänat som stöd/fixering för bälgen/bälgarna. Tolkningen bedöms dock som mycket svag. Vid de tidigare undersökningarna av parblästor i detta område har stolphål inte rapporterats. Vilket syfte den här stolpen tjänat är således oklart.

Stenflisorna som omgav respektive schakt och pipa var bearbetade, sannolikt slagna för att något så när önskad form skulle erhållas. Dylikt stenmaterial förekommer inte i området. I närheten fanns det inte sten över huvud taget, inte ens mindre rullstenar som på en åsrygg några hundratal meter norrut. Ingen av de stående stenflisorna var oskadade på toppen. Det kan inte uteslutas att det som här kallas skador också kan vara resultatet av den stenhuggning som formade flisorna.

Av de stenar som fanns på platsen bedömdes få, kanske ett tiotal, vara fullständigt ur sina ursprungliga lägen, däremot lutande åt olika håll. De stenar som påträffades närmare schakten var kraftigt skörbrända och gick lätt sönder. Skiffriga stenar gick sönder lagervis vid framrensningen. Totalt sett bedömdes antalet stenar som kan ha ingått i parugnarna som få. Om detta beror på att stenar flyttats från platsen eller att de aldrig varit fler än så här är oklart. På andra sidan länsgränsen, i Kind, är det inte ovanligt att ugnarna inryms i en gemensam stenkista men där är tillgången på sten å andra sidan bättre än på moarna i Axamo. När stenflisorna slutligen lyftes bort runt båda piporna konstaterades att de inte var djupt nergrävda, inte djupare än pipornas bottnar.

Gropen intill och öster om ugnarna var färdigundersökt närmast njurformad, ca 2 m lång, 1 m bred som mest och 0,4 m djup. Kanterna var ganska branta, särskilt i öster och söder. I gropens sydvästra överkant, mot den södra ugnen, gick det in en svacka, 0,2-0,7 m bred och 0,2 m djup dock utan att svackan hade kontakt med ugnen. Den från början omtalade sotfläcken låg även efter undersökningen lite på skrå och täckte inte hela gropen. Tolkningen av sotfläcken stannar vid att det sannolikt rör sig om en mellanlagringsplats för träkol. Ingenting tyder egentligen på att det skulle vara fråga om en kolningsgrop. Dels är gropen i minsta laget för detta ändamål, dels saknas den i kolningsgropar rödfärgade sanden som var i kontakt med det kolandet virket, väl synligt i de andra kolningsgroparna.

Allt material sållades. Slagg och brända/smälta/förslaggade pipleror lagrades i europapallar. Den totala volymen slagg från båda varpen var 0,35 m³ och den totala vägda slaggvikten var 517 kg. Den här blästan är således den minsta av de hittills undersökta i Jönköpingstrakten. Huvudsakligen bestod slaggen av så kallad tappslag, dvs reduktionsslagg som stelnat i de framför ugnarna liggande rännorna, dit den runnit av egen kraft. I varparna samt även i ursprungligt läge i ugnarna fanns det också så kallade bottenskållor, dvs reduktionsslagg som stelnat på ugnarnas botten. Andra typer av slagg eftersöktes, inte minst sprutslag och glödska med magnet. Några enstaka sprutslagger fastnade på magneten. Enligt tidigare erfarenheter borde det ha funnits betydligt mera sprutslag vid blästan men någon fällsten eller förmodad plats för fällsten påträffades inte. Det är runt fällstenarna som sprutslag brukar förekomma. Någon ässjegrop påträffades heller inte varför det inte kan uteslutas att eventuell hopslagning gjordes direkt på ugnsvärmen.

Den totala (bevarade/vägningsbara) lervikten var ca 150 kg, varav 84 kg från ugnarna och resten från varparna. Andelen bränd, förglasad och/eller förslaggad lera i varparna var jämfört med exempelvis Tranemo relativt låg. Det förefaller som om hög förbrukning av lera initialt ledde till låg förbrukning under drift, eventuellt endast till lagning av ugnarna i luftintagens närhet mellan blåsningarna och till munstycken. Den totala volymen genomsållat material, exklusive ovanstående, uppskattades till ca 1,5 m³.



Figur 1. Ovanför huvudet på den sållande arkeologen ligger de två ugsresterna. Till vänster om ugnarna ligger två svagt synliga rödfärgade rostningsplatser. Kolningsgropen i figur 2 befinner sig i bildens överkant. Foto: L-E Englund.

Figur 2. Kolningsgrop. Snitt genom grop och vall. Under vällen ses den gamla markytan med ett lager av nertrampat kol ovanpå. Foto: L-E Englund.





Figur 3. Ugnsresterna omgivna av ljus mosand. I förgrunden kolfläcken som låg lite på skrå i gropen bakom ugnarna. Foto: L-E Englund.



Figur 4. Ugnsresterna i ett senare skede av undersökningen. Den bakomliggande gropen har tömts till botten. Foto: L-E Englund.

Figur 5. Den södra ugnsresten i undersökningens slutfas. Foto: L-E Englund.



Figur 6. Den norra ugnsresten i undersökningens slutfas. Foto: L-E Englund.

Laboratoriearbete

Materialproverna för beskrivning och analys insamlades fortlöpande under fältarbetets gång av Lars-Erik Englund, förutom lerprovet som insamlades i efterhand av Moa Lorentzon. Allt insamlat material till GAL vägde något mer än 10 kg. Registrering och okulär klassificering utfördes förenklat, bland annat utifrån bedömningen att slaggtyperna är välkända, både från tidigare undersökningar och från experiment utförda i rekonstruktioner av den undersökta ugnstypen. Urval för fördjupade analyser gjordes av Lena Grandin och Lars-Erik Englund gemensamt efter tvättning, sågning och samråd. Allt insamlat provmaterial rymdes i 20 fyndpåsar, därav den följande GAL-numreringen 1-20.

Registrering, arkeologisk klassificering och analyser

1.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Del av blästermunstycke, nu 95×60×30 mm och 100 g. Skadat och omvikt, dvs ursprunglig tjocklek kan inte avgöras. Nuvarande tjocklek (exkl omvikning) är som mest 25 mm, vilket inkluderar den kvarvarande inre delen (mot stället) av munstyckets pip. Kvarvarande tjocklek i periferin är 15 mm. Nästan 130 mm av periferikantens omkrets är kvar som en utjämnad fingerstruken yta. Ett par millimeter in i godset har leran förglasats men är för övrigt rödbränd i olika grader. Minst rött, närmast grågul, är ytan i blästerhålet. Blästerhålet är nu 25 mm djupt och har en öppning mot bälgen på 50 mm. Öppningen i pipen är nu 45 mm, men dess yttre delar är avbrända, dvs pipens totala ursprungliga djup kan inte avgöras. Lergodsets tjocklek mellan ytterperiferi och lufthål är 25-35 mm (minsta och största). Vinkeln mellan periferikanten och pipens insida är ca 45°. Sidan mot bälgen är vittrad och saknar originalytor. Munstyckets profil, i form av en svacka mellan periferikant och pip, är tydlig i den bäst bevarade sidan. Lergodset har magrats med talrika (stor andel) små millimeterstora mine-ralkorn, huvudsakligen kvarts.

Figur: 7–8

Tolkning: Ursprunglig diameter i helt tillstånd uppskattas till ca 100-110 mm, den största tjockleken kan knappast ha varit mindre än 40 mm, däremot större. Omvikningen, liksom blästerhålets deformering, kan vara en följd av att munstycket drogs ur sitt läge med en krok när blåsningen avslutats och munstycket fortfarande var mycket varmt och plastiskt. Blästerhålets storlek var ursprungligen större än nu. Pipen är avbränd och munstyckets utsida vittrad. Öppningen mot bälgen är nu 50 mm (extrapolerat mått) och bedöms kunna ha varit något mindre i odeformerat skick (jfr dock nedan). Öppningen mot härden kan aldrig fixeras storleksmässigt, men med en antagen mynning på 20-25 mm, vilket var vanligt för bälugnar i skriftliga källor (jfr Evenstad 1790, Rinman 1794), borde ett helt och koniskt utformat lufthål ha varit minst 50 mm långt/djupt, dock troligen det dubbla med tanke på att pipen bör skjuta in åtminstone 50 mm i schaktet för att undvika att smältan fäster hårt vid schaktväggen.

2.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Del av blästermunstycke, nu 105×60×35 mm och 106 g. Även detta fragment har både delar av periferikanten och lufthålet bevarade. Det mellanliggande partiet är mera profilerat än i föregående fragment. Ca 80 mm av den yttre periferins omkrets återstår. Kanten är 30 mm hög där den är bäst bevarad, men den är skadad på bälgsidan. Koniciteten på lufthålet är stor, ca 45°, i förhållande till den raka periferikanten, vilket ger en stor öppning mot bälgen, betydligt mindre mot stället. Avståndet mellan periferikant och pipens öppningskant (mot bälgen) är nu 25 mm men har varit mindre och mellan periferikant och pipens utsida

(mot stället) är det 60 mm. Periferikanten är rak och fingerutslätad runt den bevarade omkretsen. I den förglasade insidan (mot stället) finns ett millimetertunt lager slagg. Några knottorr som reser sig ovanför ytan är magnetiska och innehåller metalliskt järn (eller magnetit).

Tolkning: Blästermunstycket har sannolikt suttit mot annan lera, sannolikt pipleran (delvis med hänsyn till att det är omöjligt att passa in ett runt munstycke i en fyrkantig stenram). Inget tyder på något annat. Munstycket har gjorts med finesse, det har inget klumpigt över sig. Tillverkaren av munstycket måste ha känt sitt material väl (lerkvalitet, lagom mycket magring av rätt sort), och den miljö munstycket skulle fungera i och vilka temperaturer det skulle ut sättas för. Trots den synbarligen fina kvaliteten får man en känsla av att munstyckena på den här blästan bara skulle räcka till en blåsning, dvs anpassade till att ugnspipan ändå måste lagas mellan blåsningarna.

3.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen (sållet).

Registrering: Elva delar av blästermunstycken, totalt 232 g. Fragmenten är deformerade och framför allt mindre än de båda föregående beskrivna. Fem av dem har spår efter både periferikant och luftintagskant, fem enbart av hålkanten (varav två troligen utgör delar av den yttersta pipen). Periferikanterna är raka och släta, runda utmed omkretsen, utom en som är skålad längs efter omkretsen. Den elfte biten består av samma material men skiljer ut sig utseendemässigt, bl a är bränningsgraden inte lika kraftig och den saknar förslagning.

Tolkning: Blästermunstycksfragmenten är mindre än de båda ovan men av samma typ och rimligen av samma ursprungliga storlek. Den elfte biten har inte de karaktäristiska dragen men kan inte förstås på något annat sätt än som detalj till luftförsörjningen.

4.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen (sållet).

Registrering: Fyra tunna fragment utan kurvatur av bränd förglasad/förslaggad lera, 20–50–40–60 mm stora och 0,4–0,8 mm tjocka, totalt 37 g, samtliga magnetiska på slaggsidan, tre så pass magnetiska att de även fastnar på magneten från lersidan.

Tolkning: Det går inte att avgöra säkert var dessa bitar suttit. Endera på ett munstycke eller på schaktväggen i närheten av munstycket, troligen det senare. I så fall har pipleran spruckit och långsamt flagnat, luft har kommit in i sprickan och rödbränt flagans baksida. Det kan inte utslutas att fragmenten suttit mot en sten (om i så fall belägen i formväggen ovanför luftintaget - men bevis för en sådan sten i ursprungligt läge saknas).

5.

Fyndlokalisering: Norra ugnens norra vägg, i formsidan, intill tapprännen, i ursprungligt läge.

Registrering: Ugnsfragment, ca 270×140×90 mm stort, 1630 g, lätt magnetiskt i enstaka små knottorr. Leran på piplerans utsida är brunbränd snarare än rödbränd. Magringen består av talrika mineral Korn, huvudsakligen kvarts, samt växter, nu synliga som avtryck i leran. Strax under ytan är leran hårt gråbränd. Därunder finns ett intill 10 mm tjockt mörkgråbränt lager. Ännu längre in är leran smält och delvis uppblandad med slagg. Längst in, mot ugnsschaktet, är leran/slaggen tätporig, grönskimrande (kokslagg), dock med en tämligen tät röd-svart yta.

Åtgärd: Sågades på två ställen.

Tolkning: Pipfragmentet är kraftigt smält och förslaggat vilket är vanligt för leror i formsidans nedre del. Knottorna innehåller sannolikt små metalliska järndroppar. Fragmentet satt lågt i ugnen och bör ha suttit i nivå med munstycket vars exakta nivå är obekant.

6.

Fyndlokalisering: Södra ugnens norra vägg, i formsidan, intill tapprännen, i ursprungligt läge.

Registrering: Ugnsfragment, ca 180×120×70 mm stort, 576 g, omagnetiskt. Snittet ser ut som i föregående (i stora drag). Kurvaturen i schaktväggen kan följas i ca 100 mm, därefter viker det förslaggade partiet av rakt ut (mot schaktets centrum). På ett ställe har slagg brutit igenom hela stycket och blivit synlig på utsidan.

Åtgärd: Sågades.

Tolkning: Vikningen kan knappast ha skett utan en yttre mekanisk kraft som verkat på schaktväggen, eventuellt i så fall, i samband med urtagning av munstycke och smälta. Om slaggenombrottet hände under drift eller under rensningsfasen medan lera fortfarande var het och plastisk kan inte avgöras i efterhand.

7.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Fem brända förglasade och förslaggade stycken piplera, det minsta 60×50×20 mm och 34 g, det största 140×130×80 mm och 904 g. Utsidorna är både grå- och rödbrända. Magringen är storleksmässigt varierad men har ett stort inslag av större, intill 5 mm stora mineralkorn, huvudsakligen av kvarts och fältspat, men enstaka kvarts- och fältspatrika bergartsfragment finns också. Det största fragmentet tilldrar sig extra intresse. I kanten på det sitter ett tegelrött fragment med uppenbart annorlunda magring (samma magring som till munstyckslerorna). Ytan är tillplattad eller i varje fall utjämnad av fingrar. På pipmursfragmentets insida, där munstycksleran slutar, vidtar en kavitet, rund i sin kvarvarande del, ca 70 mm i diameter i extrapolerat mått (ca 60 % av kaviteten återstår förutsatt att den ursprungligen var rund, därefter vidtar en brottkant). I kavitetsens förslaggade botten är hela piplerefragmentet endast 30 mm tjockt. Dess utsida består av grå-, brun- och lätt rödbränd lera. Området mellan, synligt i snittet, består av smält lera. Pipmursfragmentets största tjocklek utanför kaviteten är 80 mm. I denna del har slagg blandats med smältande lera och även brutit genom hela väggen och nu syns på utsidan.

Figur: 9

Åtgärd: Sågades.

Tolkning: Den utjämnade ytan sitter varken på fragmentets in- eller utsida, utan på kanten och i sådant läge att det sannolikt utgjorde kontaktyta mot blästermunstyckets periferikant (men med frågetecken kring att munstyckenas periferier är runda medan ytan är rak de ca 45 mm som den kan följas). Exakt hur detta fragment suttit i pipan kan inte avgöras, dock troligen vid sidan av eller omedelbart under blästermunstycket. Det är inte omöjligt att kaviteten bildats på grund av att smältan formerades alldeles intill. Exakt hur infästningen av blästermunstycket gjordes i pipan är oklart. Möjligen är den nu raka ytan orsakad genom deformation i blåsningens slutskede eller vid urtagning av smältan, men ingen av dessa hypoteser kan ledas i bevis. Att foglera användes mellan pipa och blästermunstycke är teoretiskt tänkbart, men bevis saknas. Spår efter foglera skulle kunna saknas om både blästermunstycket och pipmursleran var förbränd (torkning och torkeldning har befunnits nödvändigt i experimentella sammanhang) och fogleran blöt vid infästningstillfället. Förbränning av blästermunstycken bedöms som mycket sannolikt, förmodligen rent av en förutsättning för att munstycket ska hålla en hel blåsning.

8.

Fyndlokalisering: Från den norra ugnen.

Registrering: Grå lera från den obrända delen av ugnspipan, totalt 180 g. Bitarna, nu intill några centimeter stora, är varken brända eller obrända, de håller ihop men går sönder vid minsta beröring.

Åtgärd: Totalkemisk analys av 10g torkat, men inte upphettat prov.

Tolkning: Innehållet i denna lera borde spegla av sig på något sätt i slaggernas kemiska sammansättning. Det vill säga, då lera från ugnspipan har smält och blandats med slaggen påverkar den såväl slaggens flytbarhet som dess sammansättning. Frågan är i hur stor omfattning detta kan ha ägt rum. Resultaten av den totalkemiska analysen presenteras i ett separat stycke.

9.

Fyndlokalisering: Rostningsplatsen A1.

Registrering: Rostad malm (rödjord) från ett bevarat centimetertjockt malmlager på markytan. 3,50 g rostades på nytt. Den brunröda malmen svartnade (ett ganska stort inslag av ljusa mineralkorn synligt i rostgodset) för att åter ljusna till brunrött vid svalningen. Efter rostningen vägde provet 3,15 g (förlust av fukt och humusämnen) och efter magnetavskiljning vägrade 0,71 g att följa magneten. Bland dessa 0,71 g fanns flera millimeterstora "stenar". Alltså knappt 70 % av rostgodset följde magneten, vilket måste anses som mycket bra med tanke på den förmodade kontamineringen.

Åtgärd: Totalkemisk analys av 2 g rostad och magnetseparerad malm. Studie i stereolupp av malmen (ej magnetseparerad) visar att en stor del utgörs av silikatmineral, främst kvarts. Mineralkornen är täckta av finkornigare material, rödbrunt i färgen. Detta är för finkornigt för att kunna identifieras i stereoluppens begränsade förstoring. Sannolikt är det detta material som utgör malmen men eftersom detta vidhäftar kvartskornen följer även dessa med magneten.

Tolkning: De ljusa mineralkornen (huvudsakligen kvarts) utgör troligen ett sekundärt inslag, genom omlagring i de övre marklagren. Vilken järnhalt malmen hade ursprungligen kan inte avgöras men det skulle inte förvåna om den i princip bestod av en "ren" järnoxid, dvs inslaget av slaggbildande kvarts var mycket lågt. I det analyserade provet är järnhalten låg, endast 8,06% Fe₂O₃ (se separat stycke om totalkemiska analyser).

10.

Fyndlokalisering: Rostningsplatsen A2.

Registrering: Rostad malm (rödjord) från ett bevarat centimetertjockt malmlager på markytan. 3,50 g rostades på nytt. Den mörknade och ljusnade på samma sätt som föregående. Efter rostningen vägde provet 3,05 g (förlust av fukt och humusämnen) och efter magnetavskiljning återstod 0,34 g, dvs omkring 90 % av rostgodset följde magneten (därtill fastnade en del ljusa mineralkorn), vilket är ännu bättre än i föregående.

Åtgärd: Studie i stereolupp motsvarande för prov 9 men på det magnetseparerade materialet ger samma bild som för prov 9 men med något mindre andel kvartskorn och större andel finkornigt rödbrunt material (järnoxider) men ändå en stor andel silikatmineral.

Tolkning: Skillnaderna mellan A1 och A2 beror inte på faktisk malmkvalitet, snarare på olika kontamineringsgrad, bevarandeförhållanden och möjligheter till bra provtagning.

11.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Sex småslaggar, totalt 3,6 g, samtliga magnetiska, varav två tämligen cirkulära hagelstora sprutslaggar, två centimeterstora droppslaggar, den ena med bevarad hals samt två tunna slaggskal (bildas runt gasblåsor).

Tolkning: Reduktionsslagg och primärsmidesslagg (sprutslaggena).

12.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Tre tappslaggar, totalt 290 g, bestående av relativt lättflutna slaggsträngar, formade i tapppräna. De är relativt släta på de mörkgråa ovensidorna. Knottiga på undersidan efter att ha stelnat i mosanden, ripplar ovanpå. Två slaggar har mosand insmält i undersidan. Två slaggar har byggts upp av tre enskilda, ej samtida slaggflöden. Den tredje består av ännu fler slaggflöden, minst sju,

Åtgärd: Sågade.

Tolkning: Reduktionsslagg. Slaggflödena i tappslaggena indikerar att slagghålet kan ha stått öppet en längre tid, eller så har slaggränsen inte rensats mellan tappningarna.

13.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Fyra tappslaggar, totalt 470 g, av samma typ som ovanstående. De är brunsvarta utanpå, grafitgrå i sågat snitt, omagnetiska, täta inuti med porrad vågrätt i centrum (orsakad av samtidig kylning/stelning från alla håll, från kanten och inåt). Den bredaste biten (A) är 75 mm bred och 20 mm tjock, den smalaste (B) är 30 mm bred och 20 mm tjock, oval till formen.

Figur: 10

Åtgärd: Totalkemisk analys, 50 g, av 13A. Tunnslip 13A och 13B.

Petrografi och metallografi: A) Homogen slagg som är tämligen fattig på porer. Slaggen är något finkornigare längs ytterkanterna (ovan- och undersida) än mer centralt. Slaggen är välkristalliserad med en huvudsaklig kristallisationsriktning för främst wüstit men även olivin, i det närmaste vinkelrätt mot överytan. Olivinlameller förekommer i något större mängd och är något grövre än de extremt långsmala wüstitdendriterna. En glasfas förekommer endast i mindre omfattning (fig 11).

B) Slaggen har betydligt fler och större porer än prov 13A. Tvärsnittet är ovalt och dess ytterkant (mestadels en undersida?) är täckt av ett tunt skikt av kvartskorn. Yttre delarna av slaggen är finkornigare än de mer centrala delarna. Kristallformen skiljer sig också något med kortprismatiska olivinkristaller i ytterkanten och olivinlameller i övrigt. Olivinkristallerna är omgivna av en glasfas. Wüstit finns endast i begränsad omfattning, främst som mycket små dendriter i glasfasen. Enstaka koncentrationer (små!) av metalliskt järn finns också (fig 12).

Mikrosondanalyser: A) Olivinlamellerna har huvudsakligen fayalitisk sammansättning, dvs Fe_2SiO_4 men de innehåller även relativt mycket mangan (motsvarande 2,5–2,7% MnO; Tabell 1) och mindre mängder fosfor (motsvarande 0,4–0,8% P_2O_5) och kalcium (motsvarande 0,3–0,4% CaO). Såväl slaggens nedre som övre halva har analyserats. Olivinkristallernas sammansättning uppvisar dock inga entydiga skillnader mellan dessa två områden. Wüstiten har en sammansättning nära den teoretiska FeO men innehåller även den något mangan (motsvarande 0,8% MnO). Mangan finns även i glasfasen även om halten är betydligt lägre. Glasfasens dominerande ämnen är järn, kisel och aluminium (Tabell 1). Fosfor är också en komponent som kan noteras. Glasets sammansättning varierar något mellan olika analysområden

men variation är inom tämligen begränsade intervall så glasfasen får betraktas som jämn i sammansättning.

Tolkning: Reduktionslagg. A) Slaggens textur med mycket välutvecklade och jämnstora olivinlameller respektive wüstitdendriter i enhetlig kristallisationsriktning visar att materialet har kristalliserat enhetligt/samtidigt. B) Denna lilla ovala biten indikerar ett litet tapphål, möjligen bara att smeden stack en vidjekvist genom leran och bände lite och så följde slaggen kvisten ut ur hålet ner i rännan där slaggen breddade sig när flöde lades till flöde. Även denna slagg uppvisar en tämligen samtidig kristallisation efter en inledande kristalltillväxt i ytterkanten som avkylts först. Den totala järnhalten i denna slagg är sannolikt lägre än i prov 13A.

14.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Femton tappslaggar i olika dimensioner, vilka har uppkommit genom att ha stelnat i olika positioner i tapprännan. Totalt 1072 g. De större, som stelnat långt ut i rännan, är uppbyggda av flera mindre slagglöden (strängar), de mindre av endast ett. Den minsta slaggen är 25 mm lång (brott i båda ändarna) och oval i snittet, 25×12 mm i ena änden, 13×8 mm i den andra. I varpet fanns det ett stort antal små strutformade slaggstycken med avtryck efter väggar runt om.

Åtgärd: Sågad.

Tolkning: Slaggtappningshålet måste ha varit mycket litet närmast härden, och följaktligen slaggen mycket lättrunnen för att huvud taget ta sig igenom den trånga öppningen. Den strutformade slaggen tolkas som kanalformad tappslag. Den slagg som inte stelnat i kanalen men runnit ut och stelnat i rännan benämns rännformad. Utanför kanalen, i rännan, blev slaggen större, bredare och den ändrade utseende. Den rännstelnade slaggen har rikligt med mosand vidsittande på undersidan och ripplar på ovansidan, vilket de kanalstelnade saknar. Ripplarna bör rimligen ha blivit talrikare ju längre ut i rännan slaggen nådde.

15.

Fyndlokalisering: I ursprungligt läge i södra ugnen.

Registrering: Bottenskålla, 250×180×90 mm, 2670 g, oregelbundet päronformad sedd ovanifrån, närmast plankonvex sedd från sidan. Ytan är knottrigt ojämn på ovansidan, knottrigt grusig på undersidan, omagnetisk på båda sidorna. I ena kortsidan (kvistsidan för att fortsätta päronliknelsen) smalnar slaggstycket mot vad som kan förmodas vara slagghålet. På skållans ovansida iakttas inga spår efter direktkontakt med smältan. Detta var den största enskilda slaggbiten som påträffades på hela blästan.

Figur: 13

Åtgärd: Sågad. Totalkemisk analys, 145 g. Tunnslip.

Petrografi och metallografi: Slaggen varierar något i utseende nerifrån och uppåt såväl vad gäller porositet som kemisk sammansättning och textur. Slaggen domineras av kortprismatiska olivinkrystaller i något varierande kornstorlekar. Dessa är omgivna av en glasfas som lokalt innehåller järnoxider. I de nedre delarna utgörs dessa av magnetit, i de övre av wüstit. I slaggens övre delar finns också uppemot centimeterstora, svampiga ansamlingar av metalliskt järn. I ett väldefinierat skikt mellan ett homogent slagglager och slagg med större mängder metalliskt järn finns kvarts- och fältspatkorn insmält i slaggen. Kornen är dock inte smälta i större omfattning eller blandade med slaggen. I detta område är stycket porösare än i övrigt.

Mikrosondanalyser: Analyser av det svampiga metalliska järnet visar inga andra element än järn i halter över detektionsnivåerna. Olivinlamellerna har huvudsakligen fayalitisk sammansättning, dvs Fe_2SiO_4 men de innehåller även en del mangan (motsvarande 1,6–1,9% MnO ;

Tabell 1) och mindre mängder magnesium (motsvarande 0,4–0,8% MgO). En av de små magnetitkristallerna som förekommer i slaggens nedre delar har analyserats. Dess sammansättning avviker från magnetitens teoretiska (Fe_3O_4) med en del av järnet utbytt mot främst aluminium och titan (Tabell 1). Glasfasen varierar i sammansättning mellan olika analysområden. Kisel är den dominerande komponenten och är den som är tämligen homogen (undantaget en punkt) med halter motsvarande 41–45% SiO_2 . Järninnehållet varierar mer (motsvarande 18–32% FeO) liksom aluminiuminnehållet (12–18% Al_2O_3 , undantaget en punkt).

Tolkning: Slaggen är förvånansvärt heterogen i sin uppbyggnad. De nedre delarna med ”homogen” slagg är mer normala förutom att magnetit förekommer vilket inte är vanligt i reduktionsslagger men kan bildas vid god syretillgång i kombination med höga temperaturer. Att syretillgången varit förhöjd i dessa nedre regioner i ugnen kan bero på att luft sugits in via slaggtappningsöppningen. Inslaget av kvartsrikt material som finns på något högre nivå är tämligen enhetligt och skulle kunna vara tillfört vid en viss tidpunkt. Skiktet med insmälta kvarts- och fältspatkorn är inte lokaliserade endast till det petrografiskt studerade området utan förekommer i fler koncentrationer i skållan. Ovanför detta skikt finns sedan ansamlingen av metalliskt järn vilka skulle kunna utgöra den övre delen av slaggen som stått i kontakt med smältan även om detta inte kan observeras med blotta ögat. Av någon anledning har tappningen inte fungerat, i varje fall inte sista gången. Det förefaller som om detta upptäckts i ett relativt tidigt skede i processen och smeden har tillsatt sand för att förbättra slaggtappningen men har inte lyckats fullt ut med detta ingrepp.

16.

Fyndlokalisering: I ursprungligt läge i norra ugnen.

Registrering: Bottenskålla, 100×90×30 mm, 174 g, oregelbundet päronformad sedd ovanifrån, närmast plankonvex sedd från sidan. Ytan är knottrigt och flutet ojämn på både under- och ovansidan, omagnetisk på båda sidorna utom i centralt belägen punkt på ovansidan, förmodligen en innesluten liten järndroppe.

Tolkning: Den här skållan skulle knappast ha uppfattats som sådan om den påträffats i varpen. Vid tillfället när skållan bildades fungerade slaggtappningen uppenbarligen bättre än vad fallet var när skållan i provnummer 15 bildades.

17.

Fyndlokalisering: Sekundär placering utanför men nära den norra ugnen, invid tapprännen.

Registrering: Bottenskålla, del av, 150×110×60 mm, trasig, 446 g, närmast plankonvex sedd från sidan. Ytan är knottrigt ojämn på ovansidan, knottrigt sandig på undersidan, omagnetisk på båda sidorna. På skållans ovansida iakttas inga spår efter direktkontakt med smältan. Den här skållan, liksom de båda föregående, saknar avtryck efter träkol, bortsett från några enstaka osäkra.

Tolkning: Skållan bör ursprungligen ha varit dubbelt så stor och vägt dubbelt så mycket. Storleksmässigt befinner den sig mellan de båda föregående beskrivna. Därmed inte sagt att den är ”normalstor”. Det finns inga ”normalstora” bottenskållor i varpen. Deras storlek förefaller vara följden av hur väl slaggtappningen fungerade. Det går inte att med hjälp av bottenskållornas storlek och vikt få en uppfattning om hur mycket malm som sattes upp vid varje blåsning.

18.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Tre delvis smälta och kraftigt förslaggade schaktväggsfragment, rostbruna på insidan, lerbrungråa på utsidan, magrade med intill millimeterstora sandkorn och enstaka större mineralkorn. A: 115×70×25 mm, 248 g, omagnetisk, sprucken lerig utsida, blåsig insida, blåsig i sågat snitt, bevarad kurvatur, dvs välvning utmed schaktväggen. B: 115×80×25 mm, 267 g, för övrigt som A. Välbevarad kurvatur, träkolsavtryck på insidan. C: 85×80×20 mm, 142 g, för övrigt som A. En ganska stor (uppskattningsvis ca 1 cm³) järndroppe sitter innesluten på insidan.

Åtgärd: Sågade.

Tolkning: Med största sannolikhet har dessa tre fragment suttit i lerpipans nedre del, i luftintagssidan, vilket fragmenten i ursprungligt läge också understryker. Det är i området nära luftintaget som hettan är så stark att den smälter leran och den börjar rinna.

19.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Två delvis smälta och kraftigt förslaggade schaktväggsfragment av samma typ och utseende som i provnummer 18. A: 65×60×20 mm, 74 g, magnetisk, innehåller metalliskt järn, för övrigt som föregående. B: 90×65×60 mm, 240 g, magnetisk. "Utsidan", dvs brottytan mot annan piplera, är gråbränd (dvs bränd utan tillgång till syre) och saknar kurvatur, dvs brottet mot övrig lera i pipans mantel har följt andra lager än för de i nummer 18. Brottet passerar för övrigt "genom" en sten som minst är 25×19×10 mm (synlig storlek). På insidan sitter inneslutet relativt rikligt med metalliskt järn.

Åtgärd: B sågad.

Tolkning: Fragment B är tjockare än de övriga vilket kan tolkas så att det har suttit längre ner i schaktet och närmare luftintaget, förglasningen har trängt djupare in i lergodset. Temperaturen i härden bör ha varit avsevärd eftersom den förmått smälta lera in till minst 60 millimeters djup, sannolikt ännu djupare då det kan förmodas att pipleran närmast härden smälte helt, blandades med flytande slagg och rann ut tillsammans med denna.

20.

Fyndlokalisering: Slaggvarpen.

Registrering: Elva grompar (se terminologibilagan) med en total vikt på ca 500 g, styckevikter från ca 10 g till 130 g, oregelbundna, närmast knottriga, rostiga, starkt magnetiska. Den största är närmast trekantig 70×60×40 mm.

Figur: 14–15

Åtgärd: Av fyra av gromparna tillverkades polerprov (A–D).

Tolkning: Av någon anledning har dessa järnrika stycken inte fäst vid smältan och inte samlats in för att smältas om. Järnet i dessa bitar skulle ha räckt till ett par knivblad, dvs smederna bekymrade sig inte över järntapp i den här storleksordningen.

20A

Petrografi och metallografi: Oregelbundet tvärsnitt, något L-format, 18×15 mm av otätt metalliskt järn. Materialet är poröst, något korroderat och omgivet av sekundära korrosionsprodukter. Stycket utgörs huvudsakligen av ett kolstål (fig 16) med jämn, inte alltför grov kornstorlek. Den dominerande strukturen är perlitkorn med cementit i korngränserna. Inom kornen finns flera subkorngränser. Lokalt förekommer enbart perlit eller perlit med något ferrit.

Längs en ytterkant uppträder en något avvikande struktur med cirkelformade till något kantiga bildningar av järnfosfid. Mängden slagg är låg. Den slagg som kan observeras består av olivinlameller och en glasfas.

Mikrosondanalyser: Analyserna visar att fosfor förekommer genomgående i järnet, alltså inte enbart i fosfidfasen utan även i omgivande ferrit och perlit i halter upp till ca 0,5% fosfor (Tabell 2). Den analyserade järnhalten är relativt låg beroende på ett kolinnehåll som inte kan analyseras med den använda mikrosonden (se stycket om analysmetoder ovan).

Tolkning: Materialet är ett hårt kolstål, med kolhalter varierande kring 0,8%, och med innehåll också av fosfor som förbättrar segheten. Stycket innehåller endast små mängder slagg. Det är av god kvalitet till eggmaterial och bra med hänsyn till den jämna strukturen, sammansättningen och den ringa slaggförekomsten.

20B

Petrografi och metallografi: Tvärsnittet är oregelbundet ca 26×22 mm och består av tre koncentrationer av metalliskt järn omgivna av korrosionsprodukter och slagg som består av en glasfas, finkorniga olivinlameller och lokalt finkornig wüstit/magnetit.

En av koncentrationerna (20B:1) är betydligt tätare än de andra två och består av relativt grovkornig ferrit. I dess ena ytterkant förekommer en överpräglade struktur till följd av ett mindre fosforinnehåll (fig 17). Den innehåller endast ett fåtal porer och är korroderad endast i begränsad omfattning. Järnkonzentrationen innehåller endast begränsade slaggmängder i små inneslutningar. Flertalet består av endast en glasfas, i övriga förekommer också wüstit, bl a i mindre cirkelformade inneslutningar.

De båda andra koncentrationerna av metalliskt järn är betydligt otätare men innehåller slagginneslutningar av samma karaktär. En av dessa järnkonzentrationer (20B:2) består av relativt grovkornig ferrit med mindre korn längs en del kornkontakter och lokalt med en överpräglade fosforstruktur. Den tredje järnkonzentrationen (20B:3) domineras av relativt grovkornig ferrit. Ytterst sparsamt finns korngränsurskiljningar (cementit?).

Mikrosondanalyser: Analyser har utförts på 20B:1 för att kvantifiera fosforinnehållet som observerats i den metallografiska studien. Resultaten visar genomgående relativt höga halter av fosfor (ca 0,4–0,5% P; Tabell 2).

Tolkning: Materialet är genomgående ferritiskt (mjukt) järn, i det närmaste helt kolfritt. I två av styckena kan ett fosforinnehåll noteras vilket förbättrar hårdheten något jämfört med ett helt fosforfritt järn. Fosforhalten är dock inte så hög att kvaliteten försämras. Slagginneslutningarna är relativt få vilket är till materialets fördel. Det är mestadels otätt och har inte alls kompakterats efter framställningen. Antingen har stycket inte haft kontakt med smältan eller så har det gått förlorat då denna tagits ur ugnen.

20C

Petrografi och metallografi: Oregelbundet formad koncentration av metalliskt järn ca 28×19 mm i tvärsnitt. Järnet är poröst och korroderat såväl i ytterkant som i de centrala delarna. Slagginneslutningar kan dock inte observeras. Materialet är genomgående lågkolhaltigt och består av ferrit med mindre mängder perlit. Centralt är kornen grövre än i ytterkanterna där andelen perlit är något högre. I ytterkanterna uppträder lokalt också en avvikande textur med cirkelformade till mer kantiga ferritformer runt en kärna av järnfosfid och omgivna av perlit.

Mikrosondanalyser: Analyserna visar att fosfor förekommer genomgående i järnet, alltså inte enbart i fosfidfasen utan även i omgivande ferrit och perlit i halter upp till ca 0,5% fosfor (Tabell 2). Den analyserade järnhalten är relativt låg beroende på ett kolinnehåll som inte kan analyseras med den använda mikrosonden (se stycket om analysmetoder ovan).

Tolkning: Stycket är genomgående lågkolhaltigt, dvs det är inte optimalt för eggår. Mängden slaggg förefaller vara mycket låg vilket betyder god kvalitet med avseende på detta. Fosfor förekommer som hårdhetshöjande och seghetsförbättrande ämne åtminstone i delar av materialet. Att kornstorleken är lägre i ytterkanterna i kombination med en något högre kolhalt kan bero på att stycket varit utsatt för mekanisk bearbetning. Det har dock gått förlorat i ett mycket tidigt skede i hanteringen.

20D

Petrografi och metallografi: Oregelbundet format tvärsnitt ca 27×24 mm innehållande bl a koncentrationer av otätt metalliskt järn där en koncentration genomgående är relativt grovkornig ferrit. En annan består av något finkornigare ferrit med något perlit (ej hårdbart). Ett område utgörs av slaggg bestående av en glasfas och olivinlameller. I denna slaggg förekommer svampigt järn som, där det är tillräckligt stort för att kunna observeras i mikroskopet, är ferritiskt. Slaggg, med glas, olivin och wüstit, förekommer som inneslutningar i koncentrationerna av metalliskt järn och runt dem tillsammans med korrosionsprodukter, träkolsstycken och sannolikt också bränd lera.

Tolkning: Stycket är huvudsakligen mjukt järn även om en låg kolhalt förhöjer hårdheten marginellt i delar av materialet. Förekomsten av det svampiga järnet visar att stycket sannolikt befunnit sig utanför den egentliga smältan där järnet alltså inte har haft möjlighet att förena sig med denna, kanske på grund av det bildats sent i processen.

Petrografiska analyser

Detaljerade resultat från den petrografiska studien ges vid respektive prov. Här följer en kort jämförelse. Tappslaggerna prov 13A och 13B är i ett avseende lika varandra med sin speciella, samtidiga och enhetliga, kristalltillväxt som skett utanför ugnen. Sådana texturer ses inte i slagger som stelnat i ugn eller underliggande slagguppsamlingsgrop. Skillnader mellan de båda finns i form av mineralinnehåll. I 13A finns olivin, wüstit och glas men i 13B finns wüstit endast i mycket små mängder och glasfasen är mer utbredd. Det totala järninnehållet är överlag alltså lägre i 13B än i 13A. Detta betyder sannolikt att slaggerna bildats under något skilda stadier (järnfattigare och glasigare rinner ifrån före den järnrikare) under processen, inte nödvändigtvis att de kommer från olika blåsningar. Prov 15 skiljer sig från 13A och B såväl okulärt och morfologiskt som i mikroskala. Denna slaggg har formats i ugnen. Sannolikt har dess övre del varit i kontakt med smältan.

Mikrosondanalyser

Detaljerade resultat från mikrosondanalyserna presenteras i tabellform (Tabell 1), och vid respektive slaggg. I slaggerna (Prov 13A och 15) har huvudsakligen olivinkristallerna och glasfasen analyserats för att få underlag till temperaturberäkningar (se nedan) för att undersöka om några skillnader föreligger mellan dessa båda slaggtyper. Olivin och glas är också de faser som normalt kan variera mest i sammansättning i en slaggg. Wüstit och magnetit har därmed analyserats endast i undantagsfall. Olivinkristallernas sammansättning skiljer sig åt något mellan de båda analyserade slaggerna. I prov 13A har de något högre mangan-, fosfor- och kalciuminnehåll men något lägre järn- och magnesiuminnehåll än i prov 15 (fig 18). Skillnaderna är i den storleksordningen att slaggerna kan härröra från samma malm men har sannolikt inte bildats under samma blåsning.

Glasfasens sammansättning skiljer också de båda slaggerna åt. De dominerande komponenterna i båda slaggerna är kisel, järn och aluminium. Prov 13A uppvisar ett tämligen homogent resultat från olika delar i slaggen men variationerna är större i prov 15 för flertalet av elementen. I prov 13A är järnhalterna betydligt högre och kiselhalterna betydligt lägre än i prov 15

(fig 19). Aluminiuminnehållet visar inte lika tydliga skillnader men i prov 13A är de något lägre, eller mer konstanta, än i prov 15 där de varierar inom ett större intervall. Ett annat element som skiljer de båda slaggerna från varandra är fosfor med högre halter i prov 13A (i kombination med något högre kalciuminnehåll) än i prov 15.

Temperaturberäkningar

Kristallisationstemperaturer beräknas från fördelningen av järn och mangan mellan olivin och glas. Under normala betingelser kan vi förvänta oss att jämviktsförhållanden rått i reduktionslagger där tiden för kristallisationen varit tillräckligt lång för jämvikt att hinna ställa in sig men inte i smidesslagger som stelnat under mer heterogena betingelser (se bilaga 2 för ytterligare bakgrundsinformation). Slagger som stelnat utanför ugnen speglar en betydligt kortare tid i kristallisationsförloppet men dess sammansättning kan härledas till en större och homogen slaggvolymer och till förhållanden som varit rådande i ugnen. Jämvikt karaktäriseras av att temperaturerna beräknade från järnfördelningen är de samma som från manganfördelningen. Enligt Leeman & Scheidegger (1977) kan jämviktsbetingelser antas ha varit rådande om temperaturerna beräknade från de båda elementens fördelningar inte skiljer sig åt mer än 100°C.

Resultaten beräknade från järn- och manganfördelningen presenteras i figur 20. De analyserade slaggerna följer det definierade jämviktsintervallet tämligen väl vilket alltså är normalt för reduktionsslagger. En markant skillnad kan dock noteras mellan prov 13A och 15. Prov 13A har kristalliserat vid genomgående högre temperaturer än prov 15. Detta speglar med andra ord de olika slaggtyperna mycket väl, det vill säga prov 13A är en tappslag som kristalliserat hastigt från höga temperaturer i ugnen när den tappats till betydligt lägre temperaturer utanför ugnen. Prov 15 däremot är en slag som har stelnat betydligt långsammare i ugnsvärmen där en större slaggvolymer bevarat högre temperaturer en längre tid. De relativt höga temperaturen som noterats för prov 13A är temperaturen vid vilken slaggen stelnat. Det innebär att temperaturen i ugnen har varit ännu högre (än 1200°C).

Totalkemiska analyser

De två slaggerna som har analyserats totalkemiskt uppvisar en del likartade drag men en stor skillnad mellan dem är innehållet av järn (totaljärn) och kisel (Tabell 3). Tappslaggen 13A är rikare på järn (i tabellen angivet i oxidform 82,2% Fe_2O_3) och fattigare på kisel (19,3% SiO_2) än bottensskållan prov 15 (65,5% Fe_2O_3 respektive 33,3% SiO_2). Övriga huvudelement förekommer i lägre halter, bland annat aluminium (2,07 respektive 3,17% Al_2O_3), mangan (1,79 respektive 1,29% MnO) och fosfor (1,01 respektive 0,62% P_2O_5), eller i betydligt lägre halter som övriga ämnen.

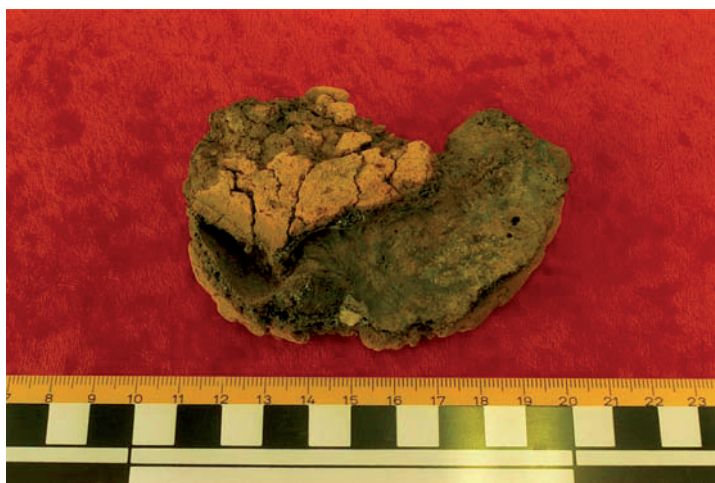
Lera (prov 8) från ugnspipan och ett malmprov (prov 9) från rostningsplatsen har också analyserats. Dessa har betydligt högre kiselhalter än slaggerna (73,9 respektive 79,8% SiO_2). Järnhalterna är följaktligen låga (4,89 respektive 8,06% Fe_2O_3). För lera är detta inte anmärkningsvärda resultat. En malm (egentligen en ekonomisk term) bör man dock förvänta ha betydligt högre järnhalter. Malmprovet som insamlats är dock från en rostningsplats och har en stor inblandning av kvartskorn, sannolikt från underlaget. Den malm som egentligen har använts har alltså varit betydligt rikare. Lera innehåller aluminium i högre halter än järn (10,7% Al_2O_3) och kalium i något lägre halter än järn (3,33% K_2O). I malmprovet förekommer dessa båda ämnen i något lägre halter. Fosforinnehållet i båda dessa prover är betydligt lägre än i slaggerna.

I bottensskållan, prov 15, är det totala kiselinnehållet högre än i tappslaggen prov 13A. Delar av kiselinnehållet härrör från det kvarts- och fältspatrika material, sand, som sannolikt tillsatts i processen för att få slaggen att rinna bättre. I denna blåsning har man troligen inte lyckats fullt ut med detta. Tappslaggen och bottensskållan uppvisar olika innehåll av andra ämnen som avslöjar att slaggerna härrör från olika blåsningar. Bland annat är manganhalten högre i prov

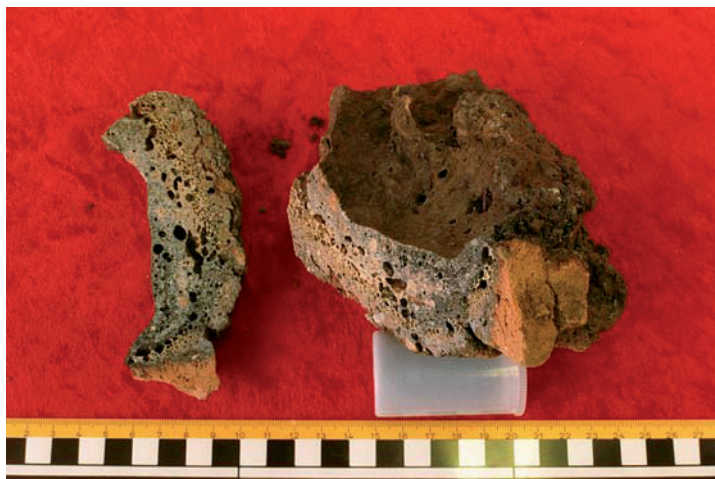
13A. Denna skillnad beror sannolikt främst på att malmen som satts upp har varierat något i sammansättning. Spårelementsammansättningen visar emellertid att det är samma malmtyp som har använts. Skillnader i manganhalt är också vanligt inom en malmförekomst. Liknande skillnader i fosforinnehåll kan ses i de två slaggerna med något högre halter i prov 13A än i prov 15. Fosfor kan också förekomma i malmer i låga halter. Den analyserade "malmen" uppvisar visserligen låga halter men om vi tar hänsyn till att järnhalten kan antas ha varit nästan tio gånger högre i den malm som verkligen använts och antar liknande proportioner för fosforinnehållet (vi förväntar oss inte anmärkningsvärda halter av fosfor i kvarts) så resulterar det i rimliga nivåer som kan förekomma i malmer av denna typ.



Figur 7. Del av blästermunstycke (fynd nr 1). Bränd utsida med restkanter efter blästerhållet. Foto: L-E Englund.



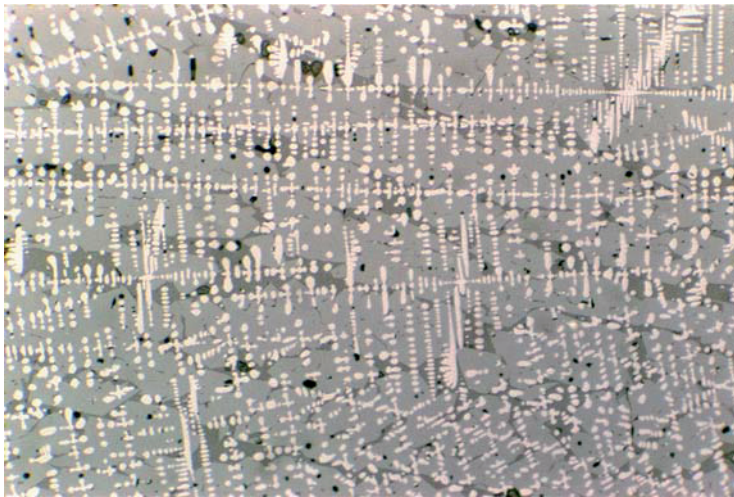
Figur 8. Del av blästermunstycke (samma som föregående) med lätt förglasad och förslaggad insida (fynd nr 1). Ena sidan är omvikt. Notera också den jämna periferikanten nere till höger. Foto: L-E Englund.



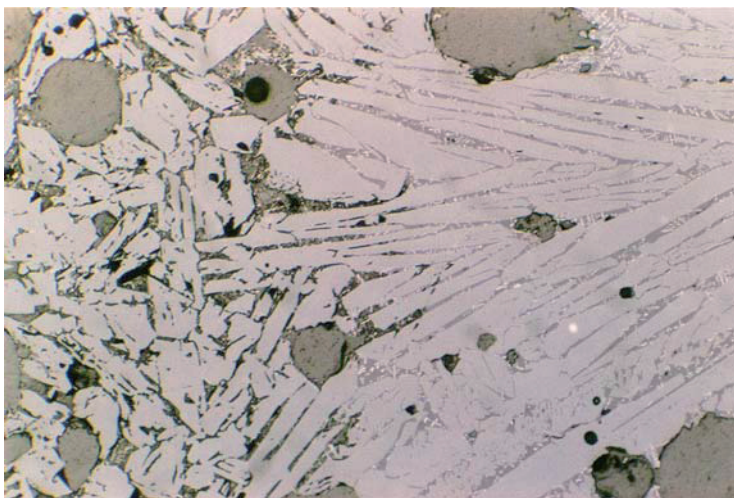
Figur 9. Förslaggat och förglasat schaktväggsparti med förmodad infästningslera (fynd nr 7). Hypotetiskt har ett blästermunstycke infäst mot det brända lerpartiet. Foto: L-E Englund.



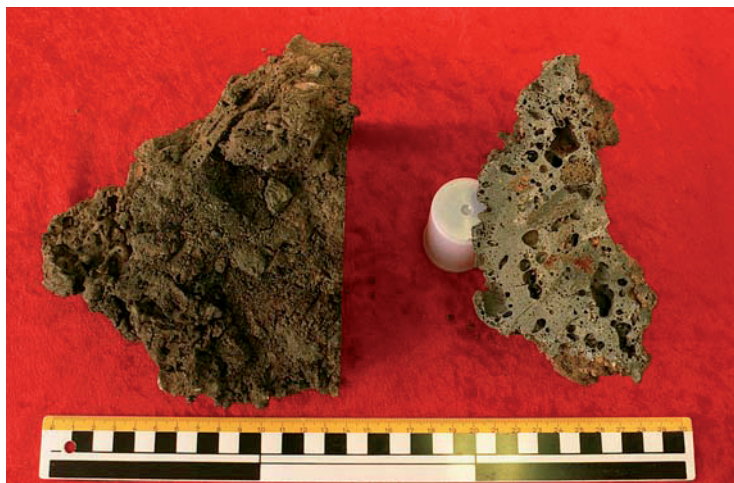
Figur 10. Några av tappslaggen ur fynd nr 13. Nere till vänster prov 13B. Foto: L-E Englund.



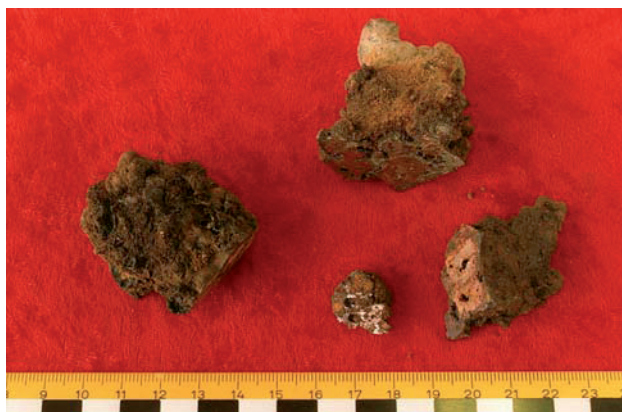
Figur 11. Prov 13A, tappslag från slagghvarp. Slaggen är homogen och tämligen finkornig. Den innehåller olivinlameller (grå), dendritisk wüstit (ljus) och glas (mörkt grå). Mikrofoto, reflekterande belysning, bildbredd 1,1 mm. Foto: L Grandin.



Figur 12. Prov 13B, tappslag från slagghvarp. Slaggen är huvudsakligen relativt finkornig och innehåller olivinkristaller (grå) och glas (mörkt grå). Wüstit finns endast som små dendritter (ljusa) i glasfasen. Mikrofoto, reflekterande belysning, bildbredd 1,1 mm. Foto: L Grandin.



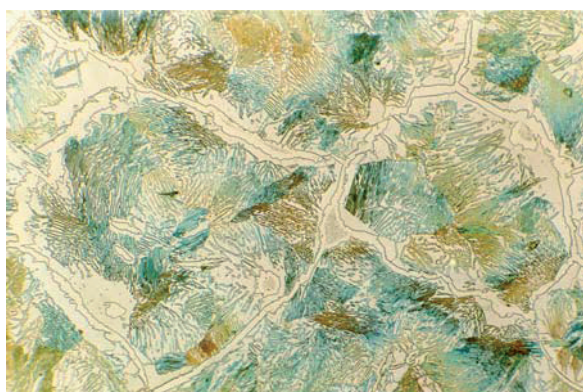
Figur 13. Sågad bottenskälla (fynd nr 15). Foto: L-E Englund.



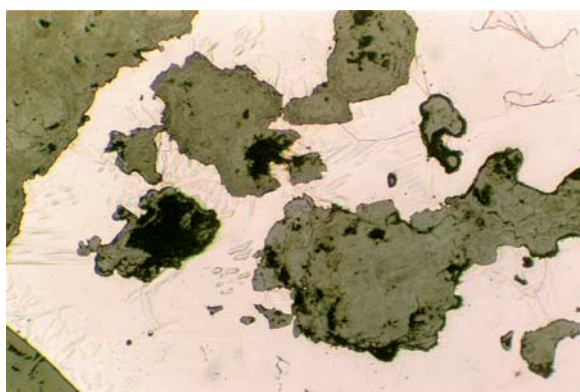
Figur 14. Gromparna A-D ur fynd nr 20. Foto: L-E Englund.



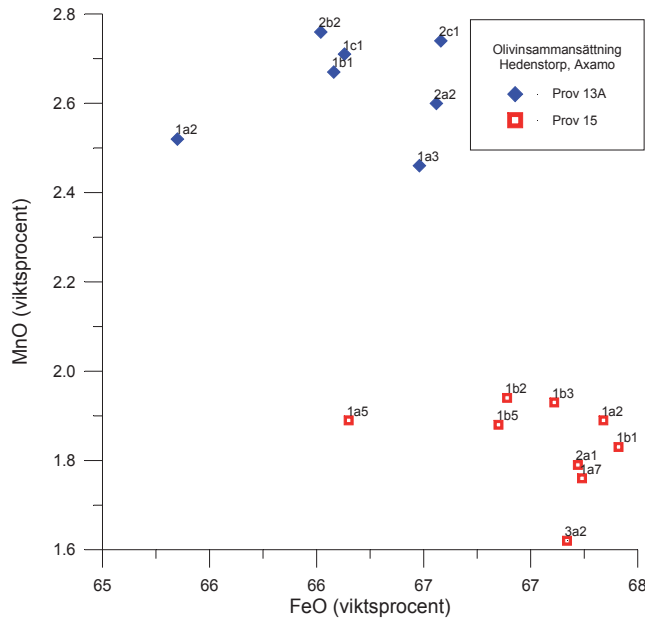
Figur 15. Gromparna A-D ur fynd nr 20. Polerprov. Foto: L-E Englund.



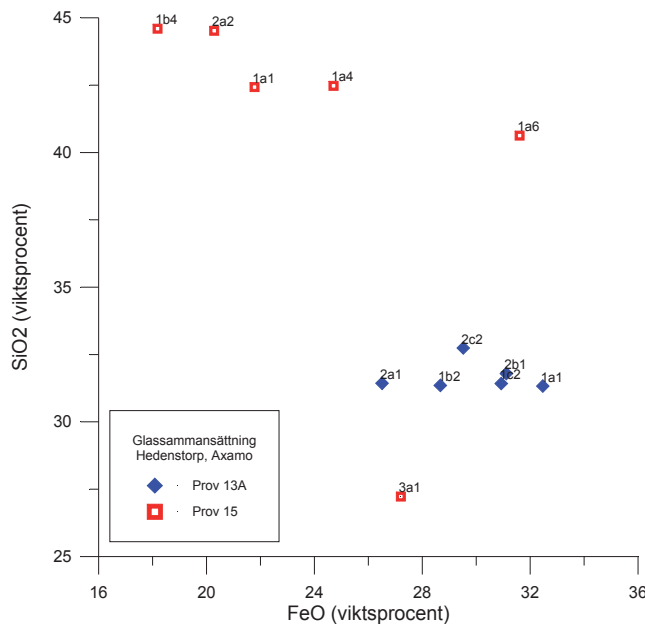
Figur 16. Prov 20A. Gromp bestående av kolstål med något varierande kolhalter. Provet är etsat med nital. Mikrofoto, reflekterande belysning, bildbredd 0,55 mm. Foto: L Grandin.



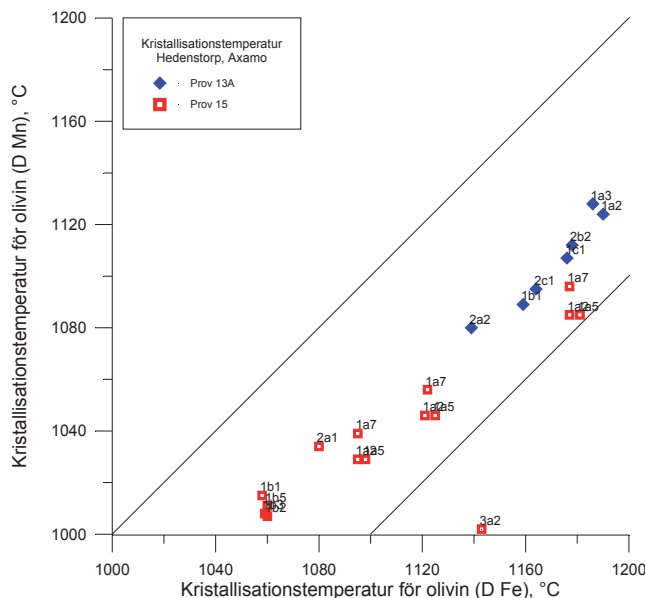
Figur 17. Prov 20B. Gromp som innehåller ferrit (ljus) dvs mjukt järn vars hårdhet är något förhöjd med ett fosforinnehåll (överpräglande diffus struktur). De mörka fälten är hålrum och korrosionsprodukter. Provet är etsat med nital. Mikrofoto, reflekterande belysning, bildbredd 1,1 mm. Foto: L Grandin.



Figur 18. Olivinkristallerna har huvudsakligen fayalitisk sammansättning, dvs Fe_2SiO_4 . Figuren visar förhållandet mellan järn och mangan. Manganhalten är något högre i prov 13A än i prov 15. Vid varje punkt har analysnummer noterats (se Tabell 1).



Figur 19. Kisel och järn är två av de dominerande ämnena i slaggernas glasfas. Prov 15 uppvisar större variation i såväl kisel- som järninnehåll än prov 13A med betydligt homogenare sammansättning. Vid varje punkt har analysnummer noterats (se Tabell 1). Analys 3a1 i prov 15 som avviker i sammansättning med betydligt lägre kiselinnehåll än resten av prov 15 innehåller en större andel små kristaller (fattigare på kisel) än glasets i övrigt.



Figur 20. Beräknade kristallisations-temperaturer. Prov 13A är en tapp-slagg som stelnat hastigt från höga temperaturer i ugnen när den tappats till betydligt lägre temperaturer utanför ugnen. Prov 15 däremot är en slagg som har stelnat betydligt långsammare i ugnsvärmen där en större slaggvoly m bevarat högre temperaturer en längre tid. Beteckningarna vid analyspunkterna är olivinernas analysnummer (jämför Tabell 1). Den avvikande punkten 3a2 i prov 15 är beräknad i par med glasanalysen 3a1 (se figur ovan) varför den inte representerar jämviktsförhållanden.

Rekonstruktion

Ugnarna

Som underlag för rekonstruktionen används dels tolkningar av dokumentationen från Hedens-torp dels erfarenheter från experimentell järnframställning i ugnar av samma typ från Tranemo, Västergötland (Englund 1994b, 2002). De senare bygger på undersökningar av parugnar i Tranemo (Englund 1994a) och Örsås (Englund 1993, jfr även Englund 1999). Ett förslag till rekonstruktion redovisas i figur 21, dock med reservation för att detaljer kan tolkas på lite olika sätt och att vi inte har någon information över huvud taget om ugnarnas övre delar. I rekonstruktionen kan allt väsentligt från dokumentationen kännas igen. Hällarna (stenflisorna) som stöttar lerpipan och mosanden som isolerar/stöttar hela anläggningen och plankorna som håller den på plats. De mindre stenarna som står på ömse sidor om tappränarna är inte fullt så säkra men stenar i dessa lägen pekar mot att tolkningen är både möjlig och rimlig. Tappränarna har lagts så som de låg vid utgrävningen. Tapphållet däremot har vi ingen information om annat än att det var mycket trångt under processens gång. Om det öppnades mera i slutfasen är oklart. Frågan är också hur slagghålet täpptes till under körning och med vilket material. På de små tappslaggerna verkar det som om täppningen kan ha bestått av mosand. Kolstybb och grästorv kan annars vara passande alternativ. Ugnarnas botten består av mosand i något skålad fason, dock med svag lutning mot tappöppningen för att underlätta slaggtappningen (fig 22).

Höjden på ugnarna i fullskaledrift har beräknats till minst 0,8 m. Forskare har på lite olika grunder kommit fram till att en schaktugn behöver vara minst 2×innerdiametern ovanför luftintaget för att över huvud taget fungera (jfr t ex Tylecote 1973:42ff, Tylecote 1986:132ff, Crew 1991, Englund 2002:228ff). Malmen behöver en viss genomgångstid för att bli tillräckligt het för att kunna reduceras. Med en ungefärlig schaktdiameter på 0,35 m erhålls en total schakthöjd på 0,8 m om utrymmet under luftintaget antas ha varit 0,1 m. Detta avstånd mellan luftintag och botten ger tappslag i experimenten i Tranemo, ett större avstånd gör att slaggen hinner kallna och stelna och därmed omöjliggörs slaggtappning. Om slaggtappas är utrymmet i härden tillräckligt stort för att rymma en 15 kilos smälta.

Exakt hur munstyckena monterades i pipan vet vi inte. Det kan ha varit i ett runt hål i pipan eller så har pipan varit förstärkt med stenar/hällar i detta område, dels för att underlätta utbytet av trasiga blästermunstycken, dels för att förstärka ugnen kring tappöppningen. Munstyckena förefaller ha haft en in i schaktet utskjutande pip (fig 23). Detta förfarande har visat sig ha uppenbara fördelar vid experimentell järnframställning. På så sätt kan smeden få smältan att formera sig centralt i härden, utan att den vidhäftar schaktväggarna. Därmed ökar ugnarnas totala livslängd avsevärt.

Processen

Järnframställning i parugnar kan antas ha bedrivits parallellt, men i olika fas, dvs båda startades inte samtidigt utan den andra någon timme senare än den första. Detta med hänsyn till att när den första smältan var klar behövde den bankas ihop och eventuellt klyvas i mindre stycken innan det var dags att tömma den andra ugnen. Möjligen startades den första ugnen om innan den andra tömdes. Ett sådant arbetssätt bör rimligtvis vara mest kostnadseffektivt.

När veden var kolad och malmen rostad (fig 24) tändes ugnarna och torkeldades något dygn så att fuktigheten försvann. Därefter rensades ugnarna och smeden reparerade eventuella skador och sprickor i pipleran. Munstyckena monterades i pipväggen, liksom bälgarna. Vilken typ av bälgar som användes är oklart då spår efter bälgarna liksom efter deras eventuella upphängning saknas. Det bör ha rört sig om hand- eller fotdrivna bälgar, dock med reservation för att fotdrivna bälgar rimligen borde avsätta spår på den undersökta markytan framför ugnarna.

Några exempel på möjliga bälgtypen ges i figur 25. När den första ugnen var full med träkol och dessa glödde satte smeden upp malm. Så fort malmen sjunkit ner genom de översta kolen sattes mera malm och därefter mera träkol och malm tills hela den förutbestämda satsen hade chargerats. Hur stor denna sats var vet vi inte men bedöms ha kunnat uppgå till högst ca 30 kg, med hänsyn till möjligheterna för smältan att växa till sig och under förutsättning att slaggtappningen förlöpte problemfritt.

När allt var uppsatt blåstes ugnen ner, dvs man blåste tills den övre träkolsnivån närmade sig luftintaget. Under tiden makade smeden oreducerad malm från kanterna in mot smältan med ett långskaftat redskap. Smältan togs ut genom hårdväggen (förutsätter att ugnens nedre del öppnas och att blästermunstycket dras ut) eller upp genom schaktet (vilket är möjligt om schaktet vidgar sig en aning från botten till topp. Därefter slogs smältan ihop på ugnsvärmen och eventuellt klövs. Till detta behövs ingen återupphettning i smideshård, ej heller i ugnens hård. Frånvaron av härdar/smidesgropar i Hedenstorp tolkas så att smeden tog sina smältor eller smältstycken till en smedja någonstans, kanske där han bodde, och smidde där.

Råvaror, produkter och avfall

Malm

Malm fanns på två rostningsplatser och i ett område intill ugnarna var marken kraftigt rödjordsuppblandad. Malmtäcket var emellertid mycket tunt och var även på rostningsplatserna uppblandat med den naturligt förekommande sanden på platsen. Vid en första anblick förefaller malmen vara rik men en noggrannare undersökning visar tydligt på den omfattande inblandningen av kvartsrikt material. Denna förorening får dock betraktas som sekundär och den malm som har använts var betydligt rikare för att reduktionen skulle fungera tillfredsställande och ge tillräckliga mängder järn.

Slagg

Huvudsakligen bestod slaggen i området av så kallad tappslag, dvs reduktionsslag som stelnat i de framför ugnarna liggande rännorna, dit den runnit av egen kraft. I varpen samt även i ursprungligt läge i ugnarna fanns det också så kallade bottenskållor, dvs reduktionsslag som stelnat på ugnarnas bottenar.

Tappslaggerna är lättflutna slaggar, vanligtvis uppbyggda av flera större eller mindre strängar/flöden av slagg som tappats ur ugnen i rännorna där de stelnat mycket hastigt och bildat finkorniga slaggar till skillnad från bottenskållorna som stelnat betydligt långsammare i ugnen. Tappslaggerna varierar något i sammansättning, en skillnad som beror dels på den använda malmens sammansättning, dels på om de tappats tidigt eller sent under processen.

Flertalet av bottenskållorna är relativt tunna, dvs de har inte nått upp över nivån för blästerintaget. Detta borde innebära att slaggen har tappats ur ugnen som den skulle och inte satt igen ugnen. En av de undersökta skållorna som påträffades i ursprungligt läge i ugnen är dock betydligt större. Slaggen är blandad med skikt av kvartsrikt material och har en ansamling av metalliskt järn i de övre delarna. Bottenskållan är så tjock att den kan ha nått upp i nivå med blästerintaget. Eventuellt har slaggtappningen inte fungerat tillfredsställande och för att slaggen inte skulle täppa igen ugnen och smeden bli tvungen att avbryta blåsningen har denne möjligen försökt få slaggen att rinna bättre genom att tillsätta sand. Om så har varit fallet har det troligen inte lyckats denna gång.

Tappslaggen och bottenskållan som har analyserats kan kemiskt härledas till samma malmtyp. De uppvisar emellertid en del skillnader som antyder att de inte har bildats vid samma blåsning. De skillnader som föreligger till exempel vad gäller manganinnehållet visar också att malmtäkten varierat något i kvalitet, vilket är vanligt i dessa sammanhang och kan bero på en kombination av geografisk spridning och skilda åldrar på malmbildningen och kan resultera

ra i att man under en användningstid utnyttjar en yngre manganfattig malm och under en annan användningsperiod kör med en äldre bildad malm med något högre manganinnehåll. Skillnaderna är dock marginella och kräver sannolikt inga större justeringar vare sig av processtemperatur eller ugnskonstruktion.

Andra typer av slag eftersöktes, inte minst sprutslag och glödska med magnet. Några enkla sprutslag fastnade på magneten. Enligt tidigare erfarenheter borde det ha funnits betydligt mera sprutslag vid blästan men någon fällsten eller förmodad plats för fällsten påträffades inte. Det är runt fällstenarna som sprutslag brukar förekomma. Någon ässjegrop påträffades heller inte varför det inte kan uteslutas att eventuell hopslagning gjordes direkt på ugnsvärmen.

Järn

Det metalliska järn som studerats i denna undersökning utgörs enbart av rester från reduktionsprocessen. Dessa ”grompar”, det vill säga järnrika stycken som inte fäst vid smältan, har inte samlats in för att smältas om under senare blåsningar och är vanliga i undersökningsområdet. De studerade proven utgör endast en liten del av samtliga påträffade. Man kan fråga sig varför de inte återanvänts i reduktionsprocessen och blandats med malmen i påföljande smältningar. Ett möjligt svar på frågan skulle kunna vara att styckena utgör en alldeles för liten mängd för att vara värda att hantera igen. Om så skulle vara fallet säger det en del om järntillgången på platsen, att det funnits tillräckligt utan att man varit tvungen att tänka på återanvändning. För att lättare förstå hur mycket järn det rör sig om kan man konstatera att enbart de ”grompar” som finns intagna som prov hos GAL mycket väl skulle räcka till ett knivblad.

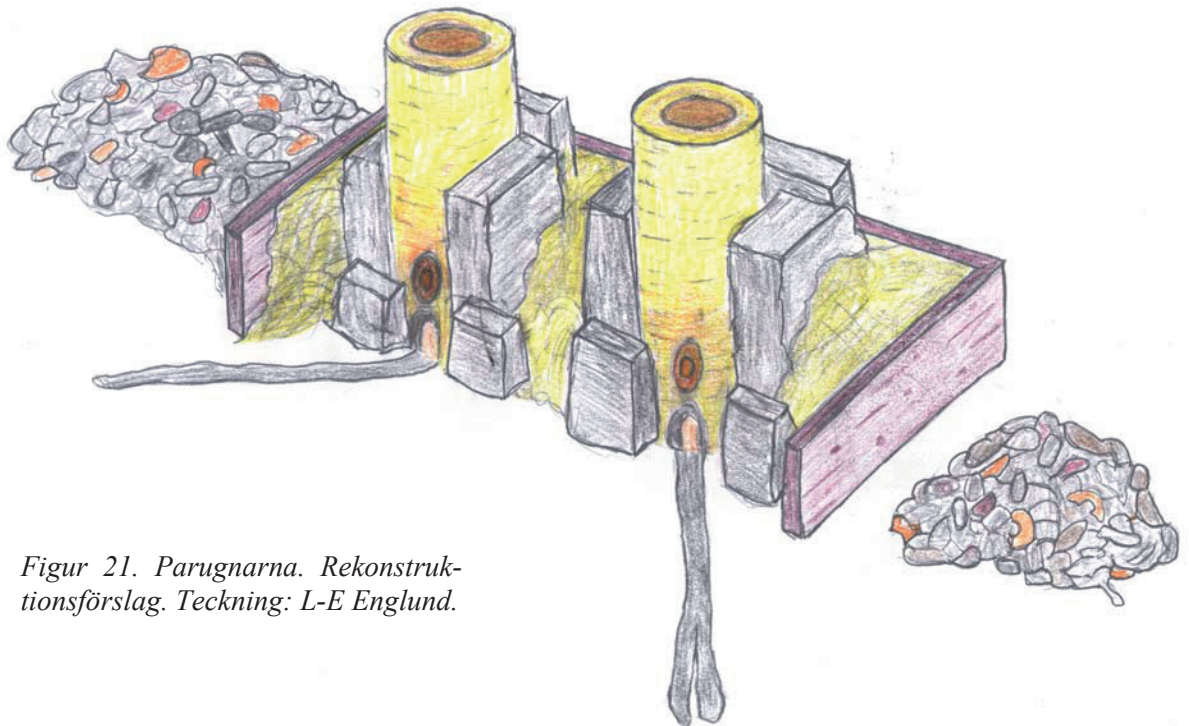
”Gromparna” utgör visserligen ett avfallsmaterial men deras struktur och sammansättning är ändå en viktig länk i förståelsen av hur framställningsprocessen fungerat och vilka järnkvaliteter som har producerats när man inte har tillgång till färdiga produkter. Den interna mikrostrukturen visar tydligt att ”gromparna” inte alls har blivit bearbetade, det vill säga, det finns inga tecken på att de har kompakterats tillsammans med smältan och har, i enlighet med den okulära iakttagelsen, alltså inte fäst vid denna.

Det är intressant att notera att bland de fyra analyserade styckena finns flera kvaliteter representerade, vilket innebär att det rör sig om material med olika egenskaper. Såväl mjukt järn som hårt kolstål är observerat. Kolstål är en kvalitet som är mycket användbar till eggverktyg och vapen. I såväl det mjuka järnet som kolstålet har också ett fosforinnehåll noterats. Fosfor förbättrar såväl hårdhet som seghet när det förekommer i måttliga halter. Blir halten för hög försämras dock kvaliteten avsevärt. Alla kvaliteter finns däremot inte inom varje stycke. Detta innebär att var och en av ”gromparna” är tämligen jämna i sammansättning till följd av en jämn (och välkontrollerad?) process vid varje tillfälle och de har följaktligen även homogena materialegenskaper.

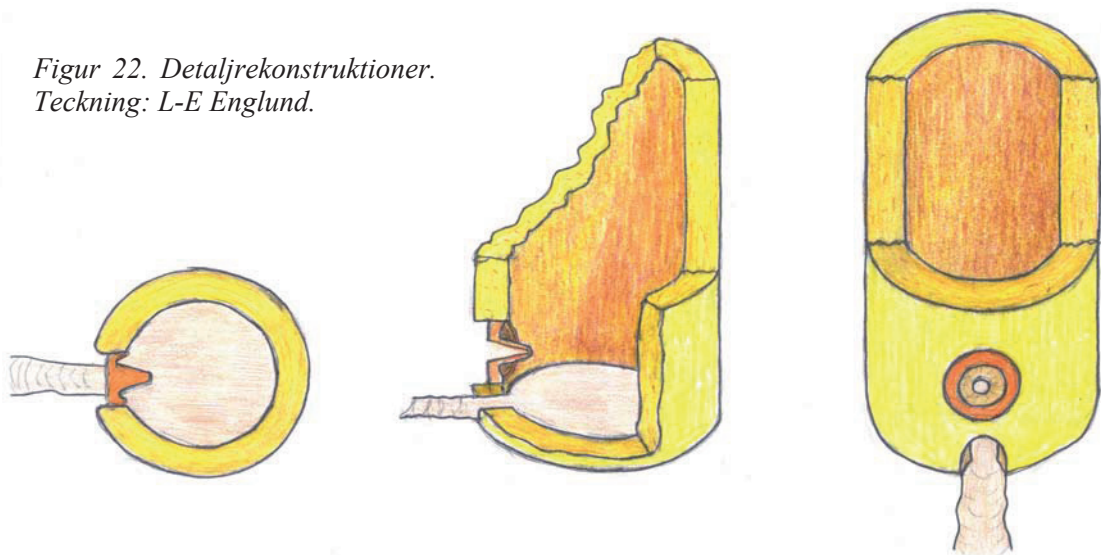
För att åstadkomma dessa olika sammansättningar krävs att processen regleras något olika – generellt kan man säga att det krävs högre temperaturer för att tillverka ett hårt kolstål eller ett fosforförande järn än ett ferritiskt järn, något som vi alltså ser tydliga tecken på i materialet. Det är med andra ord fullt möjligt att smeden har påverkat reduktionsprocessen i olika riktningar beroende på vilken järnkvalitet som planerades. Tillverkning av kolstål i blästugn är ett diskuterat ämne inom blästjärnsforskningen och åsikterna går isär huruvida stålet tillverkades direkt i blästugnen eller om ett framställt mjukt järn senare uppkolades i ässjan. I den aktuella undersökningen härrör allt analyserat material från reduktionsprocessen och kolstål finns i detta. Visserligen rör det sig inte om större mängder men fler tecken på att processen genomförts vid höga temperaturer finns i såväl slaggar som i ugnens konstruktionsdetaljer varför vi anser att kolstålet var en avsiktlig produkt.

En av ”gromparna” innehåller relativt höga, och kvalitetsmässigt fördelaktiga, fosforhalter. Det finns flera möjligheter att åstadkomma fosforrikt järn. Ett alternativ är att använda sig av fosforrik/fosforförande malm. Ett annat att tillsätta fosforrikt material (t ex ben) under reduk-

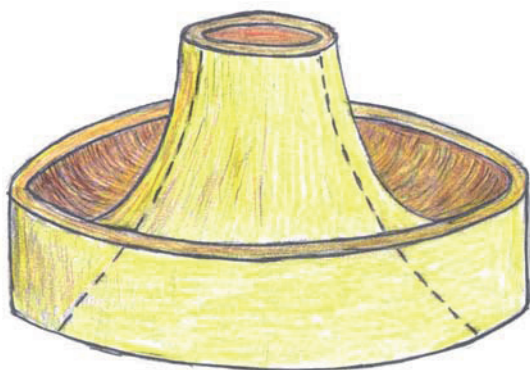
tionsprocessen. Möjligheter finns också att höja fosforhalten i framställt järn under efterföljande smidesprocesser. Det sistnämnda är dock inte aktuellt här eftersom järnet gått förlorat redan vid reduktionsprocessen och inte är vidare bearbetat. Alltså återstår två rimliga alternativ. Om ben har tillsatts under processen kan man samtidigt förvänta sig förhöjda kalciumhalter i slaggen. Det finns exempel på där brända ben har påträffats till synes utan anledning intill blästugnar där en sådan möjlighet också har varit trolig. Någon sådan koppling kan dock inte göras här eftersom vare sig extremt höga fosfor- eller kalciumhalter har noterats i de fåtal slagganalyser som genomförts. Detta medför i förlängningen att alternativet om användandet av fosforförande malm skulle vara det troligaste. Fosforjärn har tidigare, vanligtvis felaktigt, ansetts som ett dåligt järn och därmed ett misslyckande i processen. På senare tid har dock dess anseende upprättats (se t ex Modin & Lagerquist 1978, Hjärthner-Holdar & Larsson 1996; 1997, Salter & Crew 1997; Buchwald & Wivel 1998, Grandin m fl 2001) och vi har anledning att tolka resultaten som att tillverkningen av fosforjärn har varit avsiktlig.



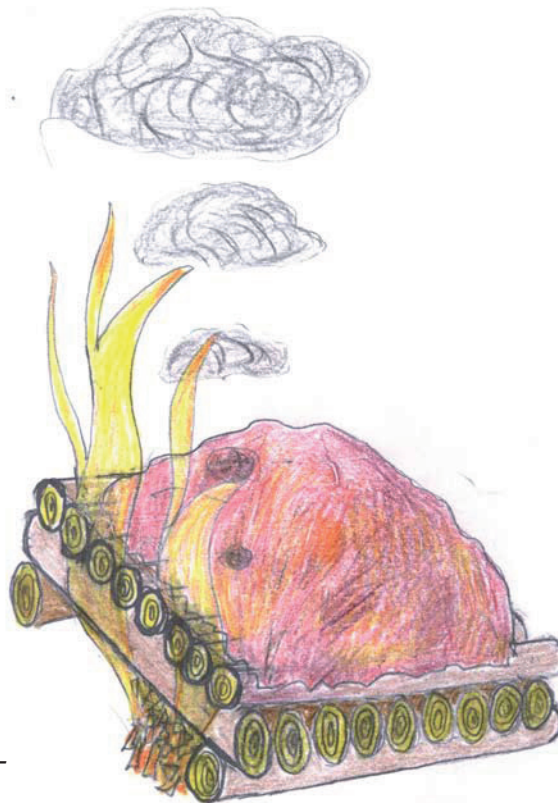
Figur 21. Parugnarna. Rekonstruktionsförslag. Teckning: L-E Englund.



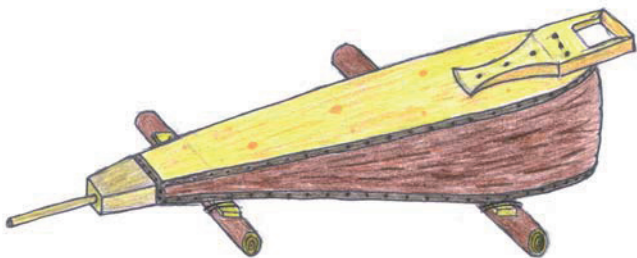
Figur 22. Detaljrekonstruktioner. Teckning: L-E Englund.



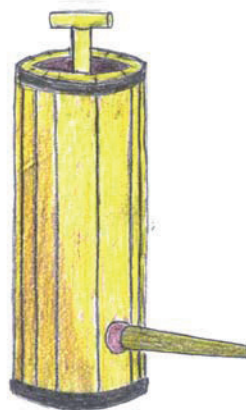
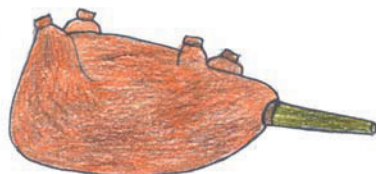
Figur 23. Blästermunstycke. Rekonstruktionsförslag. Teckning: L-E Englund.



Figur 24. Rostlave. Rekonstruktionsförslag. Teckning: L-E Englund.



Figur 25. Fyra typer av handdrivna bälgar (delvis efter Hodges 1976). Teckningar: L-E Englund.



Tabeller

Tabell 1. Mikrosondanalyser (viktsprocent) av oxid- och silikatfaser från Hedenstorp, Axamo, Sandseryds sn, Småland. Förkortningar: gl = glas, mt = magnetit, ol = olivin, sp = spinell, wu = wüstit, 0 = elementet är icke detekterat.

Prov	An.nr	Fas	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	CuO	Summa
13A	1a1	gl	31,33	0,10	14,94	32,47	1,18	0	5,32	2,85	5,03	5,81	0	0	99,03
13A	1a2	ol	27,88	0	0,21	65,35	2,52	0,33	0,35	0,06	0	0,65	0	0,02	97,37
13A	1a3	ol	28,22	0	0,20	66,48	2,46	0,25	0,36	0,09	0,02	0,42	0	0	98,50
13A	1a4	wu	0,30	0,17	0,76	94,71	0,80	0	0	0	0	0	0	0	96,74
13A	1b1	ol	28,09	0	0,14	66,08	2,67	0,54	0,32	0	0	0,72	0	0	98,56
13A	1b2	gl	31,35	0,03	14,77	28,67	1,00	0	6,14	2,71	6,04	6,65	0	0	97,36
13A	1c1	ol	29,24	0,02	0,16	66,13	2,71	0,31	0,38	0,11	0	0,77	0	0	99,83
13A	1c2	gl	31,42	0,03	15,76	30,93	1,14	0	5,80	2,76	5,44	6,92	0	0	100,20
13A	2a1	gl	31,43	0,02	15,43	26,51	0,92	0	6,07	3,49	6,76	6,54	0	0	97,17
13A	2a2	ol	28,46	0	0,20	66,56	2,60	0,39	0,31	0,15	0,01	0,46	0	0	99,14
13A	2b1	gl	31,79	0,02	13,94	31,12	1,20	0	5,46	2,77	5,78	6,21	0	0,01	98,30
13A	2b2	ol	27,99	0	0,23	66,02	2,76	0,51	0,35	0	0	0,66	0	0	98,52
13A	2c1	ol	29,25	0	0,23	66,58	2,74	0,41	0,40	0	0,01	0,60	0	0	100,22
13A	2c2	gl	32,74	0,02	16,13	29,52	1,07	0	5,38	3,32	6,35	6,66	0	0	101,19
15	1a1	gl	42,43	0,33	15,41	21,78	0,47	0	4,90	2,89	5,69	3,50	0	0	97,40
15	1a2	ol	28,59	0	0	67,34	1,89	0,64	0,09	0	0	0,32	0	0	98,87
15	1a3	sp-mt	1,51	2,26	8,26	79,00	0,34	0	0,13	0,04	0,34	0	0	0	91,88
15	1a4	gl	42,48	0,20	13,29	24,71	0,53	0	4,42	2,99	5,50	3,38	0	0,05	97,55
15	1a5	ol	28,43	0	0,06	66,15	1,89	0,81	0,11	0	0	0,06	0	0	97,51
15	1a6	gl	40,63	0,13	12,08	31,61	0,69	0	3,11	2,46	4,52	2,59	0	0	97,82
15	1a7	ol	28,91	0	0,09	67,24	1,76	0,41	0,15	0	0	0,17	0	0	98,73
15	1b1	ol	27,92	0	0,04	67,41	1,83	0,66	0,14	0	0	0,01	0	0	98,01
15	1b2	ol	28,13	0	0	66,89	1,94	0,79	0,11	0	0,01	0,01	0	0	97,88
15	1b3	ol	29,90	0	0,04	67,11	1,93	0,68	0,16	0	0	0,07	0	0	99,89
15	1b4	gl	44,60	0,49	18,34	18,18	0,41	0,02	5,85	2,94	5,54	3,88	0	0	100,25
15	1b5	ol	29,91	0	0,07	66,85	1,88	0,67	0,12	0	0	0,08	0	0	99,58
15	2a1	ol	29,88	0,03	0,09	67,22	1,79	0,43	0,19	0	0	0,01	0,01	0	99,65
15	2a2	gl	44,52	0,59	17,31	20,28	0,46	0	5,38	1,79	4,23	3,81	0	0	98,37
15	3a1	gl	27,23	0,80	27,00	27,21	0,33	0	4,46	3,04	5,62	3,89	0	0	99,58
15	3a2	ol	29,42	0,01	0,01	67,17	1,62	0,51	0,18	0	0	0,42	0	0	99,34

Tabell 2. Mikrosondanalyser (viktsprocent) av metalliskt järn från Hedenstorp, Axamo, Sandseryds sn, Småland. Förkortningar: fd = järnfosfid, fe = järn. Analysresultat angivna som 0 innebär att elementet inte är detekterat.

Prov	An. nr	Fas	Mg	Si	P	S	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Summa
15	3a3	fe	0	0	0,04	0	0	98,61	0,08	0,07	0	98,80
20A	1a1	fe	0	0	0,28	0,05	0,04	96,59	0,06	0	0,03	97,06
20A	1a2	fe	0	0,07	0,29	0,06	0,06	96,53	0,00	0,00	0	97,01
20A	1b1	fe	0	0	0,50	0,02	0	99,13	0,01	0	0	99,66
20A	1b2	fd	0,03	0	9,80	0,21	0	88,24	0	0,02	0	98,29
20B	1a1	fe	0	0	0,46	0,00	0	98,96	0,07	0	0	99,49
20B	1a2	fe	0	0,01	0,47	0,02	0	99,35	0,03	0	0	99,88
20B	1a3	fe	0	0,00	0,36	0,03	0	98,53	0,01	0,02	0	98,94
20B	1a4	fe	0	0,02	0,38	0,00	0	98,18	0	0	0,01	98,59
20C	1a1	fe	0	0	0,51	0	0,03	98,73	0,01	0,06	0	99,33
20C	1a2	fe	0	0,01	0,40	0,00	0,02	98,01	0	0	0,02	98,46
20C	1a3	fd	0	0	10,68	0,43	0	86,92	0,01	0	0	98,04
20C	1a4	fd	0	0	10,00	0,31	0	87,73	0,06	0	0	98,09

Tabell 3. Totalkemiska analyser av slagger från Hedenstorp, Axamo, Sandseryds sn, Småland. Den övre delen av tabellen presenterar huvudelementen i oxidform (i viktsprocent). Det totala järninnehållet ges i form av Fe_2O_3 . Den undre delen presenterar övriga element (i mg/kg). Analyser från SGAB Analytica, Luleå.

Viktsprocent	Prov 8	Prov 9	Prov 13A	Prov 15
SiO_2	73,9	79,8	19,3	33,3
TiO_2	0,483	0,153	0,0461	0,118
Al_2O_3	10,7	4,71	2,07	3,17
Fe_2O_3	4,89	8,06	82,2	65,5
MnO	0,0766	0,0688	1,79	1,29
MgO	0,889	0,0762	0,273	0,420
CaO	0,562	0,279	0,845	0,830
Na_2O	1,59	0,968	0,312	0,541
K_2O	3,33	2,09	0,722	1,20
P_2O_5	0,102	0,0850	1,01	0,622
Glödförlust	2,20	0,400	-7,50	-5,90
Summa	98,7	96,7	101	101
mg/kg	Prov 8	Prov 9	Prov 13A	Prov 15
Be	1,64	<0,6	<0,6	<0,6
Sc	000	000	000	000
V	45,3	16,5	37,4	30,7
Cr	42,6	61,5	<10	20,2
Co	<6	<6	<6	<6
Ni	18,6	25,6	<10	<10
Cu	21,6	9,11	<6	<6
Zn	75,8	37,1	<10	16,1
Ga	12,3	4,73	5,26	8,72
Rb	120	55,7	21,1	37,4
Sr	102	63,7	54,0	62,9
Y	17,8	4,06	68,6	29,0
Zr	259	226	93,3	118
Nb	12,6	2,51	1,56	3,29
Mo	3,20	<2	3,37	2,42
Sn	3,79	1,62	<1	1,53
Ba	638	444	834	701
La	26,9	6,66	16,0	11,9
Ce	53,6	12,5	42,8	29,1
Pr	5,53	1,64	5,78	3,72
Nd	23,5	6,26	31,6	15,3
Sm	4,11	1,38	6,94	4,87
Eu	0,744	0,185	1,64	0,765
Gd	3,86	0,959	8,90	3,84
Tb	0,453	0,172	1,53	0,618
Dy	3,41	1,10	11,3	4,34
Ho	0,713	0,198	2,61	1,09
Er	2,26	1,02	8,69	3,04
Tm	0,422	<0,1	1,10	0,639
Yb	2,57	0,963	8,92	4,55
Lu	0,385	0,153	1,36	0,620
Hf	7,46	4,83	2,15	3,44
Ta	1,23	0,438	0,242	0,363
W	1,21	0,634	0,674	0,561
Th	7,42	2,80	7,81	4,50
U	3,00	0,884	3,45	1,81

Referenser

- Björck, N. 1991. Den lågtekniska järnhanteringen i södra Vätterbygden. En studie av en regions vikingatida och tidig medeltida järnhantering. Umeå Universitet. (Opublicerad seminarieuppsats.)
- 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. 1991. The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron. *Historical Metallurgy. The Journal of the Historical Metallurgy Society*: Volume 25, Number 1. London.
- Englund, L-E. 1985. Inventory of Iron Production Sites. In *Honorem Evert Baudou. Archaeology and Environment* 4. Umeå.
- Englund, L-E. 1986. Lämningar efter lågteknisk järnframställning i södra Älvsborgs län. I *Arkeologi i Sverige*, 1985:67-90. Stockholm 1987.
- Englund, L-E. 1989. Early Ironmaking in Kind. "From Bloom to Knife". Ed. E. Nosek. Proceedings of the Symposium of the Comité pour la Siderurgie Ancienne of the UISSP. *Materialy Archeologiczne* XXVI. Krakow 1991.
- Englund, L-E. 1993. Järnblästan på Enekullen. *Aktuell arkeologisk järnforskning. Jernkontorets Bergshistoriska utskott, Ser H:55*. Red. L-E Englund. Stockholm.
- Englund, L-E. 1994a. Vikingatida blästbruk i Västsverige. *Från Borås och de sju häraderna*. Årgång 42. Borås.
- Englund, L-E. 1994b. Experimentell järnframställning i rekonstruerade vikingatidsblästor. *Med hammare och fackla*, XXXIII. Stockholm.
- Englund, L-E. 1999. Dubbelugnar och parugnar - några problem och terminologiska begrepp inom arkeometallurgin. *Wittsjöskogskonferensen 1999*. Red: A Ödman. *Norra Skånes medeltid* 1. *University of Lund, Institute of Archaeology, Report series* No. 75. Lund 2000.
- Englund, L-E. 2002. Blästbruk. Myrjärnshanteringens förändringar i ett långtidsperspektiv. *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie* 40. Stockholm.
- Evenstad, O. 1790. *Afhandling om jern-malm som findes i myrer og moradser i Norge, og omgangsmaaden med at forvandle den til jern og staal*. Ny utgåva med kommentarer av Arne Espelund, Trondheim 1992.
- Furingsten, A. 1984. Järnframställning i Västsverige. Problem och möjligheter. *Från flintverkstad till processindustri*. Kungsbacka.
- Grandin, L., Englund, L-E., Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 2001. Gjutning och järnsmide i en storgårdsmiljö. En arkeometallurgisk undersökning. LUHM 31156, Väg 11 SU2, Järrestads sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport* 4-2001. Uppsala.
- Gustavsson, L. 1976. Bergstinget och forskningen. *Tabergs Bergslag* XI. Taberg.
- Gustavsson, L. 1979. Rapport från bergstinget. *Tabergs Bergslag* XII. Taberg.
- Gustavsson, L. 1982. Bergstinget, antikvarien och kolningsgroparna. *Tabergs Bergslag* XIII. Taberg.
- Gustavsson, L. 1984. Rödjord och myrmalm. *Populär Arkeologi*, Årg 2, Nr 2. Lund.
- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Järnets och järnmetallurgins introduktion i Sverige. *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.
- Hodges, H. 1976. *Artifacts. An introduction to early materials and technology*. London.
- Holmberg, R. & Knutsson, Ö. & Stark, I. 1984. *Tidig järnframställning i Kind*. Opublicerad rapport.
- Holmberg, R. & Knutsson, Ö. & Stark, I. 1985. *Tidig järnframställning i Kind. Polhem. Tidskrift för teknikhistoria*. Stockholm.
- Johansen, B. 1985. Essungaugn. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H* 38. Stockholm.
- Jonsson, K., Magnusson, G. & Millberg, P-O. 2001. Järnhantering i norra Västergötland. Rapport över Jernkontorets bergshistoriska utskotts projekt 9035/88 "Lågteknisk järnhantering i Skaraborgs län". *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H* 71. Stockholm.
- Key, M. 1976. Dvärgasmide. Något om äldre järnhantering i Götene kommun. *Kinneullebygd. Skövde*.
- Key, M. 1979. Äldre järnhantering - ett forskningsmål. *Tabergs Bergslag* XII. Taberg.

- Key, M. 1983a. Funderingar kring en bortglömd teknik. *Järn på gammalt vis. Institutet för förhistorisk teknologi*. Nr 7. Östersund.
- Key, M. 1983b. Hur kunde dom? En amatörstudie i fornhistorisk järnhantering. *Västergötlands äldre historia. Fakta och hypoteser*. Vänersborg.
- Knutsson, Ö. 1987. Mer om tidigt västgötajärn. *Populär Arkeologi*. Årg 5 Nr 1. Lund.
- 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.
- Löthman, L. 1988. Äldre järnframställning i Jönköpings län. *Tabergs Bergslag* XV. Jönköping.
- Magnusson, G. - Millberg, P-O. 1981. "Lågteknisk järnframställning i Skaraborgs län". *Västergötlands fornminnesförenings tidskrift* 1981-1982. Skara.
- Magnusson, G. - Millberg, P-O. 1983. "Lågteknisk järnframställning i Skaraborgs län". Rapport från de fortsatta undersökningarna. *Västergötlands fornminnesförenings tidskrift* 1983-1984. Skara.
- Magnusson, G. & Strömberg, B. 1999. Utgrävningar av järnhanteringsplatser i Tvååkersområdet. *Från Absalon till Järnmölle och Galtabäck*. Red: S-O Olsson. Halmstad.
- Magnusson, G. 1984. Iron-production in Västergötland. *Sachsen Symposion Skara 1983*. Skara.
- Magnusson, G. 1985a. Järnhantering i Västergötland. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H* 38. Stockholm.
- Magnusson, G. 1985b. Järnutvinning i Västergötland. *Populär Arkeologi*, Årg. 3, Nr 2. Lund.
- Magnusson, G. 1985c. *Essunga kommuns förhistoria*. Nossebro.
- Millberg, P-O. 1981. Järn och samhälle. En undersökning om järnets roll i det vikingatida Skaraborg. Opublicerad seminarieuppsats, Göteborg.
- Millberg, P-O. 1985. Lågteknisk järnframställning i Älgårå-området. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H* 38. Stockholm.
- 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.
- Nihlén, J. 1932. Studier rörande äldre svensk järntillverkning med särskild hänsyn till Småland. *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie*, N:r 2. Stockholm.
- Nihlén, J. 1939. Äldre järntillverkning i Sydsverige. Studier rörande den primitiva järnhanteringen i Halland och Skåne. *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie*, N:r 9. Stockholm.
- Nordman, A-M. 1994. Dubbelugnar i Axamo. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, H* 55. Stockholm.
- Rinman, C. 1794. *Korrt underrättelse om sättet att smälta Sjö- och Myrmalmer uti Blästerugnar*. Stockholm.
- Ryberg, E. 1993. *Vad gjorde man i Kullings Skövde på vikingatiden*. Kungsbacka.
- 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.
- Strömberg, B. 1991. Järnhantering på boplatser i Halland under äldre järnålder. *Nya bidrag till Hallands äldsta historia*. Nr 4. Kungsbacka.
- Särilvik, I. 1975. Järnframställning i Ryd. *Västergötlands fornminnesförenings tidskrift* 1975-1976. Skara.
- Thålin-Bergman, L. 1976. Primitiv järnhantering på Åsamon i Tabergs bergslag. *Tabergs Bergslag* XI. Taberg.
- Thålin-Bergman, L. 1979. Förhistorisk järnhantering i Tabergs-området. *Tabergs Bergslag* XII. Taberg.
- Thålin-Bergman, L. 1985a. Den äldsta järnhanteringen inom Tabergs bergslag. *Småländska kulturbilder*. Jönköping.
- Thålin-Bergman, L. 1985b. Äldre järnframställning i Tabergs bergslag. *Jernkontorets Bergshistoriska utskott, H* 38. Stockholm.
- Tylecote, R.F. 1973. The Pit-type Iron-smelting shaft Furnace: Its Diffusion and Parallels. *Early Medieval Studies*, 6. Stockholm.
- Tylecote, R.F. 1986. *The Prehistory of Metallurgy in the British Isles*. London.
- Varenius, B. 1987. Lågteknisk järnhantering i Tabergsområdet. Jönköpings läns historia. *Småländska kulturbilder*. Jönköping.
- Varenius, B. 1990. Lågteknisk järnhantering i södra Vätterbygden. *Jernkontorets Bergshistoriska utskott, H* 46. Stockholm.

Bilagor

Bilaga 1

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.
- *Charging*: 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 blästerör på bälg och blästerfokus i ugnens ställe.
- *Förslaggning*: 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 slagga eller smideshammare.
- *Grop med slag*: En grop utan närmare anläggningsbestämning fylld med slag och ugnrens (jfr *slaggrup*).
- *Gromp (eng grum: thick or viscous fluid)*: Klump av metalliskt järn omsluten av slag (dvs ej från smältan).
- *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.
- *Malmsylt*: 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*).
- *Ripplar (eng: ripples)*: Vågmönster på tappslaggers ovansidor. Uppkommer genom att ytslag trycks ihop på grunda av att trögfluten slag stoppar upp (hindrar) lättfluten.
- *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.
- *Slaggrup*: 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 vålltemperatur 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 eventuellt 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.

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 härdas 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 legerings 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 övereutektoida stål (över 0,8% kol). Korngränscementit verkar förspädande.

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 kub. 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 fosforhalten 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 övereutektoidiskt 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 övereutektoida 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: Upphetning 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. Reduktionsslagger bildas vid reducering av malm till metall. Reduktionsslagger, 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 stenramsugnar). 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 reduktionsslaggar.

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

Slaggtyper

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

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

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

Glödska: Oftast starkt magnetiska oxidiska som bildas vid smidning. Vissa typer brukar också kallas hammarskal.

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

Stearinslag: 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 (=”trädlila”) 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 oktaedrisk kristaller.

Hercynit, $FeAl_2O_4$, är liksom magnetit ett spinellmineral som bildar väl formade oktaedrisk 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 myrsmalm 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 avsvlningshastigheten. 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 kristallindivud (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 slaggernas 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. Reduktionsslaggerna 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 vållsand kommer till användning. Sammantaget kan smidesslaggerna 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 slagger 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 slaggers observerade mineralogiska

sammansättningar. Därutöver har anpassning skett till såväl observerade kristallisationsföljder av slagger 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 slagger 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 ”tungasällsynta 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 slagger 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 omsmältnings-, 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 spårelementhalten. 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

Bilaga 3

Analys- och forskningsrapporter 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 slaggmateriel. RAÄ 366 m fl, Stora Tuna socken, Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-1993*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Analys av ringformat ämnesjärn från Äselby, RAÄ 105, Stora Tuna sn., Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-1993*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E. & Kresten, P. 1993. Arkeometallurgi, E20, Sandstubbetorp-Lybby. *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 sn., 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 Tegnér, 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 boplat. 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 boplaten 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 Valsgärde. 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. Örkelljunga. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1997*. Uppsala.
- Kresten, P. 1997. Analys av likarmade spännen från Valsgärde. 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 Valsgärde. 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, Örkelljunga 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. Gruvrondellen. 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 Åby sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-1998*. Uppsala.
- Kresten, P. & Goedicke, C. 1998. Termometri och TL-datering av hårdar 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 Pörnallbacken – 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 Åby sn, 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. Skaftålsyxor 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, Analysrapport* 4-1999. Uppsala.
- Kresten, P. & Goedicke, C. 1999. Geotermometri och termoluminiscensdatering av skörbränt stenmaterial från Abbetorp 1:10, RAÄ 288 m fl, Rinna sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport* 5-1999. Uppsala.
- Kresten, P. & Melkerud, P-A. 1999. Brynen från Åby 23:1, Ivetofta sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport* 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, Analysrapport* 7-1999. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Stenfynd från Ångermanland och Medelpad. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport* 8-1999. Uppsala.

- Kresten, P. 1999. Analys av glasskrapan från Berthåga kyrkogård, Dnr 421-2346-1995, Bondkyrko sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Termometri av skörbränd sten från Väg 23 vid Hässleholm, Stoby sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg- och metallfynd från Hishult sn, Halland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 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, Analysrapport 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, Analysrapport 13-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. 1999. Arkeometallurgiskt material från Välluv – en okulär klassificering. Välluv sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 14-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1999. Ämnesjärn från Arninge. Täby sn, RAÄ 335, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-1999*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Hjärthner-Holdar, E. 1999. Föremål av järn från Gröndal. Lunda sn, RAÄ 192, 241, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg och metall från Lilla Oppen. Tanums sn, Bohuslän. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 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, Analysrapport 18-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Arkeometallurgiskt material från Vittene – en arkeometallurgisk analys. Norra Björke sn, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 19-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smidesavfall från Kräggesta. Kolsva sn, RAÄ 255. Västmanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 20-1999*. Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smedjan i Vantinge, Barkåkra sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 21-1999*. Uppsala.
- Kresten, P. 1999. Slagg och metall från Kyrkesviken. Grundsunda sn, RAÄ 121, Ångermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 22-1999*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 1999. Smidesavfall från Stora Ullevi. Linköpings kommun. Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 23-1999*. Uppsala.
-
- Englund, L-E. 2000. Arkeometallurgiskt material från Lill-Mosjön – registrering och okulär klassificering. Grundsunda sn, RAÄ 356, Ångermanland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 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, Analysrapport 2-2000*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Kresten, P. 2000. Smidesavfall och stenmaterial från kvarteret Örtedalen, RAÄ 88, Uppsala stad, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-2000*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2000. Järnframställning i Ljungby. RAÄ 336, Ljungby sn, Kalmar län, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 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, Analysrapport 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, Analysrapport 6-2000*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Grandin, L. 2000. Smidesavfall från Tågerup och Särslöv. Saxtorps sn, Dagstorps sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 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 bestämmingarna för hårdarna 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 storgårdsmiljö. En arkeometallurgisk undersökning. LUHM 31156, Väg 11 SU2, 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.
- Englund, L-E., Grandin, L. & Hjärthner-Holdar, E. 2001. Datering av spadformat ämnesjärn och smälta. Kråknäset, Fors 27:3, Torsåkers sn, Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 13-2001*. Uppsala.
- Englund, L-E. 2001. Förundersökning av blästor i Markaryd. Inom delar av RAÄ 75, Markaryds sn, Småland, Kronobergs län. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 15-2001*. Uppsala.
- Kresten, P. 2001. Analys av stenfynd från Helgö. En inledande studie. RAÄ 118, Ekerö sn, Uppland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 16-2001*. Uppsala.
- Grandin, L. 2001. Granskning av järnhaltigt material. Mjärdevi 14:2, RAÄ 224, Slaka sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 17-2001*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Kresten, P. 2001. Järnframställning i Ulvsätter. Arkeometallurgiska analyser. Hardemo sn, Hallsbergs kommun, RAÄ nr 135 och 141, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 18-2001*. Uppsala.
- Englund, L-E. 2001. Smältor och spadformade ämnesjärn. Kråknäset, RAÄ 406, Torsåkers sn, Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 19-2001*. Uppsala.
-
- Englund, L-E. & Grandin, L. 2002. Järnframställning i parblästa. Hedenstorp, RAÄ 186, Sandseryds sn, Småland, Kronobergs län. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-2002*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2002. En järnframställningsplats i Tjärna. Arkeometallurgiska analyser. Borlänge stad, RAÄ 40, Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-2002*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2002. Järnframställning och smide i Yttre Svärdsjö. Arkeometallurgiska analyser. Borlänge kommun, Dalarna. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-2002*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2002. Järnframställning i kv Professorn. Arkeometallurgiska analyser. Växjö sn, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 4-2002*. Uppsala.
- Grandin, L., Englund, L-E. & Stilborg, O. 2002. Järnframställning i Öringe under äldre järnålder. Arkeometallurgiska analyser. RAÄ 332, Ekeby sn, Östergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-2002*. Uppsala.
- Grandin, L. & Englund, L-E. 2002. Järnhantering i Keldur och Hofstadir. Arkeometallurgiska analyser. Island. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 6-2002*. 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 smithing 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.
- Englund, L-E. & Grandin, L. 2001. Projektet Romartida järnhantering i Gästrikland *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R3-2001*. Uppsala.
- Forenius, S. 2001. The Introduction of Iron in Eurasia. Uppsala October 4-8, 2001. Abstracts. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R5-2001*. Uppsala.
- Englund, L-E. & Forenius, S. 2001. The Introduction of Iron in Eurasia. Excursion. Saturday 6th, 2001. *Geoarchaeological Laboratory, Research Report R6-2001*. Uppsala.
- Grandin, L. 2001. Smedjor och smide under tidig medeltid till 1700-tal – analyser av ämnesjärn. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Forskningsrapport R8-2001*. Uppsala.

Med anledning av planerade industrietableringar har Jönköpings läns museum, under fyra bistra vinterveckor i november 2001, undersökt fornlämning 186, järnframställningsplats, inom Hedenstorps industriområde. Lämningen bestod av ett slaggvarp samt 10 möjliga kolningsgropar i anslutning till detta.

En arkeologisk undersökning innebär att fornlämningen undersöks, dokumenteras i fält och plockas bort. Målsättningen är att göra detta på sådant sätt att frågor kring lämningen och den verksamhet som bedrivits kan besvaras. I föreliggande fall ställdes följande frågor:

- Är de 5–10 kolningsgropar som ligger inom rimligt avstånd från slaggvarpet, möjliga att knyta till järnframställningen?
- Är järnframställningsplatsen av samma typ som dem som undersökts på och kring Axamo flygplats?
- Går det att, i detta fall till skillnad från tidigare undersökningar, fastställa placeringen av ugnarnas blästerhål?
- Är den samtida med Axamougnarna (700–1200 e.Kr.) eller med den ugn som tidigare undersökts inom Hedenstorp (12–1300 e.Kr.)?
- Finns spår av till exempel rostningsplats eller färskningsugn eller andra anläggningar som kan knytas till verksamheten?

Resultaten från undersökningen kunde besvara frågorna, rapporten redovisar förhoppningsvis hur.