

UV UPPSALA RAPPORT 2008:16

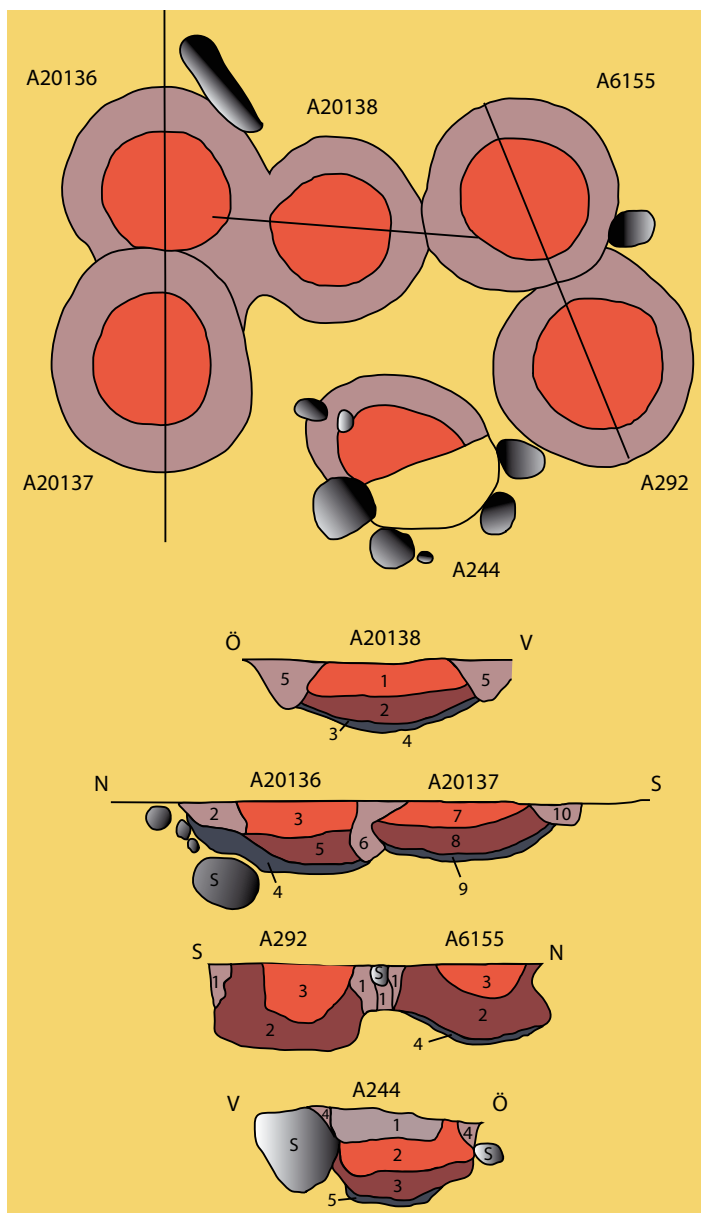
# GEOARKEOLOGISK UNDERSÖKNING

# Sjuttiofem blästugnar i Ledsjö

## Romartida järnframställning i boplatsmiljö

Västergötland, Ledsjö socken, Kyrkebo 1:7, fornlämning 150

*Svante Forenius, Lena Grandin & Ole Stilborg*





UV UPPSALA RAPPORT 2008:16  
GEOARKEOLOGISK UNDERSÖKNING

---

# Sjuttiofem blästugnar

## i Ledsjö

Romartida järnframställning i boplatsmiljö

Västergötland, Ledsjö socken, Kyrkebo 1:7, fornlämning 150

*Svante Forenius, Lena Grandin och Ole Stilborg*



Riksantikvarieämbetet  
Avdelningen för arkeologiska undersökningar



**Riksantikvarieämbetet**

**Avdelningen för arkeologiska undersökningar**

UV Uppsala

Portalgatan 2A

754 23 Uppsala

Växel: 010-480 80 30

Fax: 010-480 80 47

e-post: [uvupsala@raa.se](mailto:uvupsala@raa.se)

e-post: [fornamn.efternamn@raa.se](mailto:fornamn.efternamn@raa.se)

[www.arkeologiuv.se](http://www.arkeologiuv.se) (tidigare [www.raa.se/uv](http://www.raa.se/uv))

*Bildredigering* Svante Forenius och Lena Grandin

*Layout* Svante Forenius

*Omslagsbild*

Plan och profiler över sex tätt liggande ugnar.

*Tryck/Utskrift* Utskrivet på UV Uppsala, 2008

# Innehåll

## **Abstract 8**

## **Sammanfattning 8**

## **Inledning 9**

Bakgrund 9

Tidigare undersökta schaktugnar av liknande typ 9

## **Undersökningens förutsättningar 11**

## **Mål 11**

## **Metod 12**

Fältarbete 12

Specialregistrering 13

Urval för analys av slagger 13

Provpreparering 14

Petrografisk analys 14

Kemiska analyser 14

Keramiska analyser 15

## **Resultat 15**

Petrografisk analys av slagger 18

*F2 A20137 18*

*F21 A9404 18*

*F35 A1093 19*

*F76 A1805 19*

*F94 A619 22*

*F95 A619 23*

*F101 A397 23*

*F126 A871 24*

Kemiska analyser av slagger 24

*Huvudsammansättning 24*

*Spridning och variation 27*

*Slagger från Ledsjö jämfört med andra västgötska slagger 27*

*Ledsjö ur ett större perspektiv 28*

Keramiska analyser 30

*Registrering 30*

*Resultat av termiska analyser 37*

*Mikroskopering av tunnslip 37*

Ugnsanläggningarna 39

Dateringar 41

## **Tolkning och diskussion 44**

Ugnarna i Ledsjö 44

*Den tekniska keramiken 44*

*Storlek och form 47*

*Flätverkskonstruktion 48*

*Lufttillförseln 50*

*Stenar vid ugnar 52*

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Ris- eller halmfyllda gropar</i>                               | 53 |
| <i>Små, klena ugnar ...</i>                                       | 53 |
| <i>... endast använda en gång?</i>                                | 55 |
| <i>Organisation och förmåga att utnyttja tillgängliga råvaror</i> | 55 |
| <i>Bra eller dålig process</i>                                    | 56 |

**Referenser 58**

**Administrativa uppgifter 60**

**Figurförteckning 61**

**Tabellförteckning 62**



## Abstract

Geoarchaeological Laboratory (GAL), Department of Archaeological Excavations, National Heritage Board, UV Uppsala and The Laboratory for Ceramic Research (KFL), Lund University, has examined slags and ceramic material from an archaeological excavation at RAÄ 150, Ledsjö parish, Västergötland. The material was found at a bloomery iron production and settlement site from Roman Iron Age.

Analyses of slag samples clearly demonstrate that the furnaces were of the type where slag was collected in the lower part. However no large slag blocks were found, only smaller vesicular concentrations or the more fluid string-shaped slags. The same slag types were documented from all excavated furnaces. Chemical analyses have however demonstrated that there is a continuous variation in slag composition possibly reflecting variations in the ore composition that also have affected the furnace process parameters.

The ceramic material indicates that the furnace constructors were familiar with and mixed experiences from pottery and a technical ceramics tradition. The extremely thin walls in the furnace shafts were built up of clay around a wicker construction. As the furnaces were in use the wicker was destroyed by heat but left clear imprints in the burnt clay.

## Sammanfattning

Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL) vid UV Uppsala, Avdelningen för arkeologiska undersökningar, Riksantikvarieämbetet, har tillsammans med Keramiska Forskningslaboratoriet (KFL) på uppdrag av UV Väst utfört analyser på material från en arkeologisk slutundersökning av fornlämningen RAÄ 150 i Ledsjö socken, Västergötland. Materialet kommer från ett järnframställnings- och boplatsoområdet från, huvudsakligen, romersk järnålder.

GAL har analyserat slaggar från järnframställningen. Analysresultaten visar att blästugnarna är av den typ där slagg samlas i ugnens nedre del. Inga större bottenslagger påträffades dock. Mindre slaggar, antingen trögflutna porösa slaggar eller mer lättflutna täta stearinformade slaggar fanns i alla undersökta ugnar. Även om de morfologiskt är likartade visar kemiska analyser att det finns en variation i deras sammansättning vilket sannolikt speglar skillnader i den använda malmen.

Vidare har GAL i samarbete med KFL analyserat teknisk keramik från järnframställningens anläggningar. Analyserna av det keramiska materialet, från järnframställningens blästugnar, tyder på att godset har dubbla rötter, i såväl krukmakare- som teknisk keramisk tradition. Flera väggfragment antyder att de ovanligt tunna schaktväggarna byggts upp av lera runt en flätverkskonstruktion. Flätverken förefaller att ha brunnit upp då ugnarna användes och endast lämnat spår i form av avtryck på den sida av de keramiska fragmenten som ursprungligen var vänd in mot det heta schaktet.

## Inledning

Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL) vid UV Uppsala, Avdelningen för arkeologiska undersökningar, Riksantikvarieämbetet, har på uppdrag av Carina Bramstång vid UV Väst utfört analyser på material från en arkeologisk slutundersökning av fornlämningen RAÄ 150 i Ledsjö socken, Västergötland. Den arkeologiska undersökningen utfördes under våren 2007 med anledning av att väg E20 ska få en ny dragning på sträckan Lundsbrunn–Holmestad i Götene kommun. Fornlämningen omfattade boplatslämningar och rikligt med spår efter järnframställning. Från GAL deltog Svante Forenius i fältarbete och provtagning under tio arbetsdagar inom perioden 23 april till och med 11 maj. Lena Grandin har analyserat slagger från järnframställningen. Vidare har GAL i samarbete med Ole Stilborg vid Keramiska Forskningslaboratoriet (KFL) analyserat teknisk keramik från järnframställningens anläggningar och tolkat ugnsanläggningarna.

## Bakgrund

Järnframställning i blästugnar har en lång och geografiskt utbredd tradition i Västergötland. Redan på 1920-talet uppmärksammades landskapets förhistoriska järnhantering av John Nihlén, som tillsammans med K.E Sahlström då bl.a. undersökte en ugn vid Essunga (Nihlén 1932, s. 56). För några decennier sedan riktades blickarna åter på järnhanteringen, inte minst genom makarna Keys privata inventeringar. De fann drygt hundra järnframställningsplatser inom främst socknarna Ledsjö, Istrum, Vättnäs och Lerda. En del platser har undersökts inom projektet ”Lågteknisk järnhantering i Skaraborgs län” som drivits i samarbete mellan länsmuseum, Riksantikvarieämbetet och AMS. Vidare finns en serie <sup>14</sup>C-analyser från Västergötland med dateringar från äldre järnålder och framåt. För de fyra ovannämnda socknarna tyder dateringarna på en tyngdpunkt för järnhanteringen i vikingatid – tidig medeltid (Magnusson 1986, s. 196ff). Järnframställningsplatserna ligger ofta i brytningen mellan skogsmark och jordbruksbygd. (Magnusson & Millberg 1981, s. 267ff). I Västergötland har flera ugnstyper dokumenterats.

Dateringsresultat från förundersökningen (Axelsson 2003) av det nu aktuella området i Ledsjö sn visar att platsen använts under några århundraden kring Kristi födelse vilket innebär att denna plats kronologiskt skiljer sig från många andra av de västgötska järnframställningsplatserna som har betydligt senare datering.

## Tidigare undersökta schaktugnar av liknande typ

Schaktugnar med en underliggande grop för slagguppsamling har en mycket stor spridning i såväl tid som rum. Ugnstypens två huvuddelar utgörs av en nedgrävd grop för slagguppsamling över vilken det har stått ett schakt, vanligtvis huvudsakligen byggt av lera.

Om vi håller oss till något så när samtida ugnar finns exempel från flera länder hur denna ugnstyp ibland uppträder i stort antal på respektive järnframställningsplats (Pleiner 2000, s. 45f). I centrala Polen ligger den största regionen där denna ugnstyp använts. Inom ett ca 600 km<sup>2</sup> stort område finns omkring 6000 järnframställningsplatser med rester av sammanlagt mer

än 300 000 slagguppsamlingsgropar med kvarlämnade slaggblock. (Pleiner 2000, s. 45f) Ofta ligger slagggroparna i "militäriskt" välordnade rader. I dessa fall handlar det alltid om engångsugnar. Dessa ugnar har övergivits när slagggropen efter en blåsningsskampanj har fyllts med slagg. Slaggklumpen som lämnats kvar i gropen kan i denna typ av ugn ibland uppgå till flera hundra kilogram.

Vid undersökning av ca 1500 jylländska slagggropar har det konstaterats att medelvikten på de slaggblock som lämnats kvar i groparna var ca 200 kg (Voss 1995, s.134). Det var dock bara i ca 10% av groparna som slaggblocken hade lämnats kvar. Voss menar att i 10–15% av slagggroparna hade slaggblocken plockats ut ur ugnen omedelbart efter avslutad blåsning. Dessa gropar var delvis fyllda med sönderbrutna schaktväggar. I groparna hittas också rester av blästerrör med en diameter omkring 3,5–4 cm. Resterande 75–80 % av groparna tycks ha varit alltför förstörda av jordbruk för att säkra slutsatser skulle kunna dras. (Voss 1995, s.134)

Anledningen till att man plockat ut slaggblocken ur en del gropar var, enligt Voss, möjligen att alltför mycket av järnsmältan fallit ned och blandat sig med slaggen. För att kunna tillvarata järnet lyfte man ut slaggblocket och krossade det. Det utplockade järnet kunde efter återupphettning rensas från kvarvarande slagg. Återupphettningen i samband med detta primärsmide ägde inte rum i ugnen utan skedde sannolikt i en öppen smideshård på annan plats (Voss 1995, s.137).

När det var dags för nästa körning anlade man en ny slagggrop intill den föregående. Ibland tycks man ha haft flyttbara lerschakt som lyfts över från grop till grop vartefter dessa fyllts med slagg (Pleiner 2000, s. 159).

På den här typen av järnframställningsplatser byggs det inte upp några slagghögar. Den stora mängden slagg som ligger kvar i groparna har dock varit känd och utnyttjats av sentida järnindustri. Strax före andra världskriget ska omkring 100 000 ton av sådana slaggblock ha återsmälts i det polska järnverket i Bytom (Pleiner 2000, s. 46).

För Västergötlands del kan järnframställningen i Ledsjö jämföras med de lämningar som år 1968 undersöktes i Ryd, Ryds församling, Skövde kommun (Särlvik 1975a & 1975b). Där dokumenterades 227 gropar med slagg efter järnframställning. Området var vid undersökningstillfället mycket förstört. Det råder en viss tveksamhet beträffande dateringen av järnframställningen i Ryd. Tre kolprover har gett skiftande dateringar:  $2160 \pm 100$ ,  $1250 \pm 145$ ,  $1120 \pm 145$  BP (Särlvik 1975a, s.10). Åtminstone delar av produktionen i Ryd skulle då kunna vara äldre än järnframställningen i Ledsjö. Fynd av slagg och bränd lera i fyllningen till en stensättning i Ryd, daterad till mellersta järnålder (200 – 600 e.Kr.), visar att järnhanteringen är minst lika gammal som stensättningen (Särlvik 1975b, 106ff). I en del av slagggroparna fanns även spår som tydde på att groparna var stensatta eller lerklädda (Särlvik 1975a, s.10). Slaggroparna låg huvudsakligen i sex koncentrationer medan övriga typer av anläggningar var mera jämnt fördelade över ytan (Särlvik 1975a, s.10). Särlvik menar att det sätt på vilket de olika anläggningstyperna var fördelade över ytan tyder på att de kan ha varit någorlunda samtida.

I undersökningsrapporten menar Särlvik att schaktugnarna i Ryd var av vad hon kallar jylländsk typ (Särlvik 1975a, s.11). Enligt Voss stämmer inte detta då det kännetecknande för de jylländska ugnarna är att slaggen samlas till ett stort block i botten på ugnarna (Voss 1991, s 182; Englund & Larsson

1998, 11). I såväl Ryd och Ledsjö som på övriga samtida järnframställningsplatser i Sverige tycks man ha använt sig av andra lösningar. I Järnstad i Stora Åby socken i Östergötland har GAL tillsammans med Östergötlands länsmuseum undersökt gropschaktugnar som dock i flera avseenden påminde om danska ugnar (Englund & Larsson 1998, s11f). En väsentlig skillnad var att ugnarna i Järnstad saknade kvarlämnade slaggblock.

Längre norrut i Sverige, och i Norge, förekommer en typ av betydligt större schaktugnar med utrymme för slagguppsamling i ugnens nedre del, under marknivå. Ugnstypen har en geografisk spridning från Norduppland upp genom Gästrikland och är vanlig i Jämtland och över till Trøndelag i Norge där den också förekommer i Österdalen och på Vestlandet. Den finns även på några platser i Medelpad, men verkar än så länge saknas i Hälsingland. Vad vi vet idag tycks denna ugnstyp dyka upp omkring Kristi födelse. Tyngdpunkten på daterade anläggningar av denna typ ligger i romersk järnålder (Englund 2002, s. 306). Ugnarna får betraktas som en, huvudsakligen, norrländsk/norsk typ. De är betydligt större än samtida ugnar i södra Sverige. Även genom slaggtypen skiljer de sig från sydligare ugnar, vilket antyder att det också var skillnader i processen (Englund 2002, s. 313).

## Undersökningens förutsättningar

Järnframställning kräver omfattande organisation och tillgång till material för såväl ugnskonstruktioner som råvaror i form av malm och bränsle.

Avsikten var att dokumentera de kvarvarande resterna av ugnar och övriga anläggningar. Stor vikt lades på att i anläggningarnas fyllningar och övriga lager på platsen söka material som bär på särskild information. Det kan t.ex. vara detaljer som är väsentliga för att förstå hur ugnarna var konstruerade, i de delar som inte stod kvar, och hur lufttillförseln skedde samt om det fanns slaggblock från flera processled. Genom analyser av noggrant utvalda prover kan vi nå en ökad kunskap beträffande processteknik, ugnskonstruktion och hur väl ugnarna och järnhanteringens övriga anläggningar fungerat, smedernas skicklighet, utbyte m.m.

De arkeometallurgiska analyserna genomfördes för att kunna karaktärisera materialet, processdetaljer och jämföra mellan de olika ugnarna för att se om det fanns skillnader och/eller likheter i processen. Även urval av material för de keramiska analyserna gjordes, för att kunna beskriva ugnskonstruktion och materialval. Några fynd av järnföremål är inte att förvänta vid undersökningar av blästplatser. Däremot påträffas metalliskt järn vanligtvis som större koncentrationer i slagger. Även sådana järnrika prover är mycket användbara för att undersöka vilka järnkvaliteter som har tillverkats.

## Mål

Målen med att undersöka järnhanteringen på platsen var att genom att kombinera arkeologiska och naturvetenskapliga metoder och tillämpa kunskaper om blästprocessens teknologi få insikt om vilka ugnstyper som använts, hur järnframställningen på platserna fungerat och därmed smedernas skicklighet. Detta i sin tur kan bli utgångspunkt i diskussionen om organisation, ekonomiskt överskott och maktstrukturer både lokalt och regionalt. Undersökningarna bör i förlängningen kunna besvara frågor kring järnhan-

teringens betydelse för bygdens sociala och ekonomiska utveckling under järnålder. Ur ett större, regionalt, perspektiv kan undersökningen bidra med ny kunskap om denna bygds roll i den omfattande järnhantering med blästeknik som bedrivits i stora delar av Västergötland.

## Metod

### Fältarbete

Vid maskinavbaning av undersökningsytan på fornlämning RAÄ 150 (fig. 1) framkom 75 anläggningar som har registrerats som blästugnar. Av dessa undersöktes 7 helt, 21 till hälften medan resterande 47 endast mättes in i och besiktigades okulärt. Vid undersökningen tillämpades digital inmätning med totalstation i fältdokumentationssystemet Intrasis.

De undersökta ugnslämningarna grävdes ut kontextuellt, men även profil lades ut och ritades för hand för att få en mer komplett bild av de bevarade slagguppsamlingsgroparnas tvärsnitt. I några fall handritades lämningarna även i plan. I samband med fältundersökningen av ugnarna tillvaratogs slag-ger och bränd lera från ett urval av ugnar för senare specialregistrering och val av prover för analys hos GAL. Den brända leran utgjorde rester av blästugnarnas schaktväggar och får betraktas som teknisk keramik.



*Fig. 1. Undersökningsytan, från söder. Lämningarna efter järnframställning låg huvudsakligen i fältets västra del. Foto: Svante Forenius.*

## Specialregistrering

En specialregistrering av den totala mängden insamlade slaggar och ugnsvägar gjordes i Intrasis. Specialregistreringen av slaggen är utformad för att vara så allmän som möjligt och omfattar bland annat *slaggtyp*, *undertyp*, *viskositet*, *struktur*, *magnetism* och *avtryck*. Under slaggtyp görs en bestämning huruvida slaggen är en reduktions-, masugns- eller smidesslagg samt, om det rör sig om den sistnämnda, huruvida det är en primär- eller sekundärsmidesslagg. Undertyp avslöjar former och morfologiska drag. Dessa omfattar bottenlagg, droppslag, glödska, kulslag, omsmältningsslagg, smidesskålla sprutslag, stearinslagg och tappslag. Hur en slagg flutit ut, dvs. dess viskositet avslöjar intressanta processtekniska detaljer. En slagg kan vara trögfluten, fluten eller lättfluten. Även struktur noteras för sig. Är slaggen tät, småporig eller storporig? Slutligen finns kategorierna magnetism och avtryck. Under magnetism bestäms graden av magnetism. De bitar som är kraftigt magnetiska har i de flesta fall registrerats i gruppen s.k. järnhaltig slagg. Den järnhaltiga slaggen är kraftigt magnetisk, gränsen mellan slagg och metalliskt järn är med andra ord hårfin. Oftast är denna slagg rostfärgad och har en yta av sammankittat finkornigt magnetiskt material vilket gör det svårt att vid enbart en okulär granskning avgöra om det rör sig om slagg eller metalliskt järn. Under avtryck registrerades bland annat avtryck av kol och ved, men även blästerrör, sten, vass och gräs.

När det gäller den brända leran från ugnsväggarna har magring, huruvida bitarna är brända eller smälta, samt avtryck noterats. Samma typer av avtryck som för specialregistreringen av slaggerna gällde. I samband med analysen av den tekniska keramiken delades det undersökta materialet upp i olika godsgrupper, bl.a. med avseende på olika typer av magring.

## Urval för analys av slaggar

Med utgångspunkt i registreringsresultaten valdes slaggar från några av anläggningarna ut för ytterligare granskning för att se vilka som var lämpliga för kemiska och petrografiska analyser. Vi hade flera aspekter att ta hänsyn till, t.ex. slaggernas form och storlek, antalet anläggningar och deras fördelning över den undersökta ytan och eventuellt i tid, samt urvalet för keramiska analyser. För att kunna göra kemiska analyser krävs tekniskt sett inte mer än något gram men för att kunna karaktärisera den slagg som analyseras är det lämpligt om större slaggar väljs. Med tanke på att många av slaggerna endast är fragment eller består av små, enskilda slaggsträngar, prioriterades därför de större slaggerna när vi hade flera som var lämpliga ur andra synvinklar. Vi försökte täcka in den undersökta ytan genom att välja slagg från flera olika anläggningar, och så långt möjligt välja material från samma anläggning som ugnsväggsmaterial valts för keramisk analys. Det senare var dock inte lämpligt för alla anläggningar och det fanns ugnar där slaggerna bedömdes bidra med mycket information trots att ugnsväggen inte verkade vara lika givande. De fyndposter som granskats mer detaljerat beskrivs i tabellform nedan. I detta sammanhang noterades också speciellt om det fanns några avtryck av kol, kvistar eller ugnsvägg.

## Provprengrering

Slaggerna som valts för analys fotograferades innan de delades. De prover som valdes för totalkemisk analys rengjordes också mycket noggrant. Tunna skivor sågades ut för det fåtal som vi också valde att undersöka i mikroskop för att i detalj se hur de är uppbyggda, en information som är ett viktigt komplement i tolkningen av de kemiska analysresultaten.

I fyndmaterialet finns en del magnetiska slaggar. Dessa är främst mindre oregelbundna klumpar, i vissa fall något rostbruna i färgen. Bland de mest magnetiska av dessa har ett urval delats men ingen metall har observerats varför inga prover för metallografisk analys kunde göras.

## Petrografisk analys

Av 5 slaggar tillverkades tunnslip (MINOPREP, Hunnebostrand) av så stora ytor som möjligt av deras tvärsnitt för att kunna få en detaljerad bild av vilket processled de representerar och hur processen fungerat. Av ytterligare fyra slaggar tillverkades polerprov. Flera av de senare är tämligen små slaggar och den undersökta ytan mindre. Petrografiska undersökningar utfördes i genomfallande (tunnslip) och påfallande (tunnslip och polerprov) planpolariserat ljus för att identifiera materialets olika komponenter och texturella drag. Undersökningen gjordes i ett Zeiss Axioskop 40A polarisationsmikroskop utrustat med en digitalkamera.

Slaggar består huvudsakligen av olivin, wüstit och glas. Vanliga inslag är också hercynit, magnetit, leucit, limonit 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 slaggar från blästbruket. Om höga koncentrationer av wüstit förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög. Glas utgör slaggernas "restsmälta" och kan därför variera kraftigt i sammansättning beroende på vilka mineral som tidigare kristalliserat, slaggernas totalsammansättning och avkylningsförlopp. Magnetit,  $Fe_3O_4$ , kan förekomma i stället för wüstit om temperatur och/eller syretryck är högre. Ett mineral som kan förekomma i slaggar med relativt höga aluminiumhalter är hercynit,  $FeAl_2O_4$ . Höga aluminiumhalter i kombination med höga kaliumhalter återfinns i mineralet leucit,  $KAlSi_3O_8$ , som i vissa slaggar kan förekomma i stället för den vanligare glasfasen. Droppar av metalliskt järn, några mikrometer stora, är också vanligt inslag i slaggar från reduktionsprocessen. Limonit, järnhydroxider med varierande sammansättning, är huvudkomponent i sjö- och myrmalm och kan uppträda i slaggar som oreducerade rester men vanligtvis förekommer limonit som en sekundär bildning, dvs. i form av rost.

## Kemiska analyser

Totalkemiska analyser utfördes på nio slaggsprover, hos ALS Scandinavia AB, Luleå. Använd analysmetod är ICP-AES för huvudelement och ICP-QMS för spårelement. Totalt analyserades 43 element. Resultaten från analysen finns presenterade i tabell 2 där huvudelementens halter i procent (%) finns

i övre delen av tabellen medan spårelementens halter i mg/kg finns i nedre delen av tabellen.

### Keramiska analyser

Keramiska analyser av prov från utvalda ugnslämningar genomfördes av Ole Stilborg, Keramiska Forskningslaboratoriet (KFL), Lunds universitet. Urvalet av prover skedde i samarbete med GAL.

*Termiska analyser* utfördes på sex prover. Genom att bränna redan brända keramiska fragment i hundra graders steg upp till 1000°C och registrera färgutvecklingen med Munsell Soil Color Chart, kan den ursprungliga bränningstemperaturen bestämmas med ca. 100°C noggrannhet – Thermal Colour Test (TCT) (Hulthén 1976). När den ursprungliga bränningstemperaturen överskrids resulterar detta i en tydlig ändring av den ursprungliga färgen. Bränningstemperaturen har då legat mellan den senaste avläsningen av en oförändrad färg och avläsningen då en färgförändring har inträtt. Över 1000°C registreras sintringsförloppet fram till provets smältpunkt i 50°C intervall.

*Mikroskopering av tunnslip* i polarisationsmikroskop utfördes på ett prov. Tunnslip är 0,03 mm tunna preparat av i detta fall keramik, som kan analyseras i ett polarisationsmikroskop. Med denna metod kan man bedöma mängden, kornstorleksfördelningen och arten av naturligt grovmaterial (silt och sand). Vidare kan man urskilja samt bedöma mängden och kornstorleken på eventuell tillsatt magring. En mineralogisk bestämning av grovfraktionerna i leran kan göras. Lerans innehåll av bl.a. järnoxid, glimmer, malm och andra mineral kan uppskattas. Vid förstoringar på 600–1000 gånger studeras eventuella förekomster av exempelvis diatoméer (kiselalger) och kalkfossil.

Bildanalys i programmet Kontron KS300 har använts för att studera variationen i kornstorleksfördelning i större detalj. Fördelningen av korn  $\geq 0,1\text{mm}$  beräknas på hela slipet vid 20 gångers förstoring, medan intervallet  $< 0,1\text{ mm} \geq 0,01\text{ mm}$  studeras på fem utvalda, representativa ytor vid 100 gångersx förstoring.

### Resultat

Resultaten av registreringen redovisas i Intrasis-projektets fyndlistor. Slagger som studerats noggrannare inför provurvalet beskriv i tabell 1. De fynd som analyserats ytterligare presenteras i en mer detaljerad beskrivning för varje enskilt prov.

Tabell 1. *Fynd av slagger från RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland, som har granskats mer detaljerat inför provtagning och efterföljande analyser. Samtliga fynd är reduktionsslagger eller järnhaltiga slagger av typen bottenslagg eller stearinslagg. Andra särskiljande drag som rör flutenhet, struktur, magnetism och avtryck framkommer av tabellen liksom mer specifika drag och vilka fynd som valts för ytterligare analyser.*

| <b>Fnr</b> | <b>Anl. nr.</b> | <b>Vikt (g)</b> | <b>Undertyp av slagg</b> | <b>Viskositet</b> | <b>Struktur</b> | <b>Magnetism</b> | <b>Avtryck</b> | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2          | 20137           | 1424,1          | Stearinslagg             | Fluten            | Storporig       | Omagnetisk       |                | Varierande material från små rostiga klumpar till små stearinslagger. Enstaka större ansamlingar av stearinslagger. Lämplig ur analysynpunkt. Polerprov. Kemisk analys.                                                                                                                                                                     |
| 3          | 20137           | 11,9            | Stearinslagg             | Fluten            |                 | Magnetisk        |                | Mestadels rödbränd lera med glasig insida. Ej prioriterad för analys.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 7          | 20136           | 2448,3          | Stearinslagg             | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Mest små slagger. Fragment av stearinslagger samt enstaka mer kompakta slagger. Några med kolavtryck.                                                                                                                                                                                                                                       |
| 8          | 6155            | 1309,9          | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       |                | Huvudsakligen trögfluten slagg, enstaka stearinslagger. Ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 9          | 6155            | 115,3           | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Små klumpar, trögfluten slagg, ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 21         | 9404            | 2317,7          | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       | Saknas         | Blandade slagger från små stearinslagger till något större ansamlingar där stearinformade delar finns. Endast ett fåtal utgörs av gryniga trögflutna småslagger. Lämplig ur analysynpunkt. Polerprov. Kemisk analys.                                                                                                                        |
| 22         | 9404            | 65,2            | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Ett fragment är stearinslagg (magnetisk) med rödbränd lera. Ett fragment är rödbränd lera med slagg på insidan. Ett är en oregelbunden klump bestående av lera och möjligen slagg. Ej prioriterade för analys.                                                                                                                              |
| 27         | 4702            | 1830,6          | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       | Ugnsbotten     | Förekomst av större slaggstycken, i knytnävsstorlek. Två är stearinslagger där den ena har avtryck efter sten (?). Två stycken är ugnsvägg med bränd och smält lera. Lämpliga för analys, men ej prioriterade.                                                                                                                              |
| 33         | 1093            | 3008,2          | Stearinslagg             | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Stearinslagger, mindre till lite större. Några har runnit och stelnat mot underlag med lerfragment. Finns lämpliga för analys.                                                                                                                                                                                                              |
| 34         | 1093            | 4344            | Bottenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       |                | Slagg av varierande karaktär. Dels finns stearinslagger alltifrån små enstaka flöden till större ansamlingar. Dels finns fragment av grynig mer trögfluten slagg. Dels förekommer enstaka slagger ihopsmält med ugnsvägg. En större stearinslagg har långsmalt rektangulärt rakt avtryck, något böjt i tvärsnitt. Lämplig ur analysynpunkt. |
| 35         | 1093            | 3456,5          | Stearinslagg             | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Från 0,1 m tj. lager i botten, kolrikt. Stearinslagger, enstaka mindre flöden till några större flöden till ansamlingar av flera flöden. Svarta på ytan (färgade av sotigt/koligt lager). En har avtryck efter sten/lera. Lämpliga ur analysynpunkt. Polerprov. Kemisk analys.                                                              |

| <b>Fnr</b> | <b>Anl.<br/>nr.</b> | <b>Vikt (g)</b> | <b>Undertyp<br/>av slagg</b> | <b>Viskositet</b> | <b>Struktur</b> | <b>Magnetism</b> | <b>Avtryck</b> | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|---------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 59         | 707                 | 439             | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       |                | Små stycken av trögfluten bottenslagg och stearinslagger. Ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                |
| 60         | 707                 | 34,1            | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Små magnetiska fragment, järn ej observerat. Ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                             |
| 76         | 1805                | 3643            | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       | Ugnsbotten     | Bottenslagger, bland de större, knyt-nävsstorlek, av trögfluten slagg. Enstaka stearinslagger. Kolstycken och kolavtryck. Bra för analys. Tunnslip. Kemisk analys.                                                                                   |
| 88         | 1926                | 5481            | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       | Saknas         | Mest stearinslagg, såväl enstaka flöden som större ansamlingar av tunnare till tjockare strängar. Enstaka trögflutna slagg. Avtryck av bl.a. kvistar o sten. Större slaggerna bra för analys. Tunnslip. Kemisk analys.                               |
| 89         | 619                 | 506,8           | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Från norra halvan av ugnen. Stearinslagger, mest mindre fragment ej optimala för analys.                                                                                                                                                             |
| 90         | 619                 | 1865,1          | Bot<br>tenslagg              | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       | Kol            | Norra halvan av ugnen. Trögfluten slagg, mestadels små fragment, inte optimala för analys.                                                                                                                                                           |
| 91         | 619                 | 59,4            | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Små svagt magnetiska fragment, ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                                           |
| 92         | 619                 | 128,7           | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       |                | Botten av NV delen av gropan. Små fragment av trögfluten slagg, ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                          |
| 93         | 619                 | 37,6            | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Bottengropens NV del. Små svagt magnetiska fragment, ej prioriterade för analys.                                                                                                                                                                     |
| 94         | 619                 | 1487,1          | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       | Ved            | Södra halvan av ugnen. Stearinslagg, mest mindre stycken. Några större med kolavtryck. Lämplig för analys. Polerprov. Kemisk analys.                                                                                                                 |
| 95         | 619                 | 1754,8          | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       | Ved            | Södra halvan av ugnen. Trögfluten slagg, mestadels små fragment, en större är lämplig för analys. Tunnslip. Kemisk analys.                                                                                                                           |
| 96         | 619                 | 271,3           | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Södra halvan av ugnen. Såväl trögfluten slagg som stearinslagger (magnetiska), ej prioriterade för analys.                                                                                                                                           |
| 101        | 397                 | 383,1           | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Små fragment av stearinslagg, de flesta av ett flöde eller endast fåtal flöden. Några visar övergång mellan stearinslagg och grynig trögfluten slagg. Enstaka avtryck av kolstycken i cm-storlek. Inte optimala för analys. Tunnslip. Kemisk analys. |
| 102        | 397                 | 1437,6          | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Omagnetisk       |                | Fragment och mindre stycken. Trögfluten o grynig. Enstaka med övergång till stearinslagg. Några har kontakt med ugnsvägg. Ingen riktigt optimal för analys.                                                                                          |
| 103        | 397                 | 178,4           | Bottenslagg                  | Trögfluten        | Småporig        | Magnetisk        |                | Små fragment, <2cm. Oregelbundna. Grynig trögfluten slagg. Ingen metall observerad vid delning, endast slagg eller korroderat material.                                                                                                              |
| 104        | 397                 | 2424,5          | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Omagnetisk       |                | Blandade större fragment. Slaggen är fluten, men ej mycket typisk stearin, delvis porig och spröd. Några bitar är ugnsvägg, mestadels glasiga, blästeringång (?). En bit utgörs av stearinslagg med både rödbränd och smält lera.                    |
| 114        | 20138               | 105,5           | Stearinslagg                 | Fluten            | Tät             | Magnetisk        |                | Även rostfärgade magnetiska klumpar. Vid delning kunde inget metalliskt järn observeras.                                                                                                                                                             |

| <i><b>Fnr</b></i> | <i><b>Anl. nr.</b></i> | <i><b>Vikt (g)</b></i> | <i><b>Undertyp av slagg</b></i> | <i><b>Viskositet</b></i> | <i><b>Struktur</b></i> | <i><b>Magnetism</b></i> | <i><b>Avtryck</b></i> | <i><b>Kommentar</b></i>                                                                                                                                                                               |
|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 115               | 20138                  | 3704,3                 | Stearinslagg                    | Fluten                   | Tät                    | Omagnetisk              | Kol                   | Mestadels små stearinslagger, enstaka större. Några fragment av ugnsvägg, med rödbränd lera med glasig insida. En större trögfluten slagg är lämplig för analys som motvikt till alla stearinslagger. |
| 116               | 20138                  | 2885,3                 | Stearinslagg                    | Fluten                   | Tät                    | Omagnetisk              |                       | Några stora ansamlingar av stearinslagg lämpliga för analys. Även mindre stearinslagger och mer trögflutna slagger ingår i fyndposten.                                                                |
| 124               | 871                    | 2419,9                 | Bottenslagg                     | Trögfluten               | Småporig               | Omagnetisk              |                       | Huvudsakligen fragment av trögfluten slagg, med brun(vittrad) yta. En större ugnsväggsbit, smält. Ej prioriterat för analys.                                                                          |
| 125               | 871                    | 1251,8                 | Bottenslagg                     | Trögfluten               | Småporig               | Magnetisk               |                       | Mycket och en del stora bitar bitar och små magnetiska klumpar. Vid delning syns endast slagg, inget metalliskt järn.                                                                                 |
| 126               | 871                    | 1096,4                 | Stearinslagg                    | Fluten                   | Småporig               | Omagnetisk              |                       | En stor slagg med flera stearinsträngar, brun och porös (vittrad) på ytan. Lämplig för analys. Tunnslip. Kemisk analys.                                                                               |

## Petrografisk analys av slagger

### **F2 A20137**

Tvärsnittet är från en del av den stearinformade slaggen där endast ett slagglöde kan urskiljas. I snittet finns en del större hålrum och flera mindre, men utöver detta är den tämligen tät. Slaggen förefaller vara homogent uppbyggd. Analys av polerprov.

### *Analys*

I mikroskopet framträder samma homogena utseende som i makroskala. Provet domineras av ett slagglöde som fyller upp nästan hela provet. Endast i detta slagglödets ytterkant finns några enstaka tunna flöden. Slaggen är genomgående tämligen finkornig, allra finkornigast i ytterkanterna. Slaggen är uppbyggd av olivinlameller, dendritisk wüstit och en glasfas. Ställvis förekommer också små droppar av metalliskt järn. Längs en ytterkant har slaggen stelnat mot kvartshaltigt material som delvis smält fast i slaggen.

### *Tolkning*

Slaggen har stelnat i tämligen sval miljö där den absolut yttersta delen har stelnat fortare än de inre delarna. Stelningen har skett i reducerande miljö, dvs. i slagguppsamlingsgrop i blästugnens nedre del där sandigt/lerigt material funnits i gropbotten.

### **F21 A9404**

I tvärsnittet framträder en homogent uppbyggd slagg, där inga separata slagglöden kan urskiljas. Slaggen är tämligen porös. Längs en kant finns insmält sandig/grusigt material. Analys av polerprov.

### *Analys*

Slaggen är tämligen homogen i sin uppbyggnad och sammansättning. Den är något grovkornigare än F2. Den innehåller dendritisk wüstit, olivinlameller och en glasfas. Andelen wüstit är mestadels högre än i F2, men i små områden nära insmält silikatrikt material, dominerar olivin. Endast ett fåtal små droppar av metalliskt järn kan observeras. Längs en ytterkant finns en tunn zon med limonit, delvis med rester av metalliskt järn.

### *Tolkning*

Slaggen har stelnat i reducerande miljö inne i ugnen, eller slagguppsamlingsutrymmet. Avsvalningen har gått något långsammare än i F2. Troligen beror det på att F21 har stelnat på högre nivå och/eller varit del av en större slaggvolymer vid senare tillfälle under processen. Jämför också med F126 nedan.

### **F35 A1093**

Slaggens snitt visar en mestadels tät slagg uppbyggd av några separata slagglöden, såväl större som mindre, vilka är homogena i sammansättning. Enstaka större hålrum förekommer. Analys av polerprov.

### *Analys*

Analysen visar att slaggen domineras av ett större slagglöde i kontakt med flera mindre. Kontakten mellan dem framträder tydligast med hjälp av koncentrationer av hålrum. Slaggen är mestadels tämligen finkornig, allra finkornigast i slagglödernas ytterkanter men inte lika markant i kontakten mellan dem. Slaggen är uppbyggd av olivinlameller, dendritisk wüstit och en glasfas. Ställvis förekommer också små droppar av metalliskt järn.

### *Tolkning*

Slaggen har stelnat i reducerande miljö, dvs. i slagguppsamlingsutrymme i en blästugns nedre del. Flera slagglöden kan urskiljas men dessa har mycket likartad sammansättning och kommer från en större homogen slaggvolymer. Slaggen har stelnat tämligen snabbt i ett tidigt skede men sedan har avsvalningen och kristallbildningen gått långsammare. Den liknar F2 i sammansättning men har stelnat något långsammare.

### **F76 A1805**

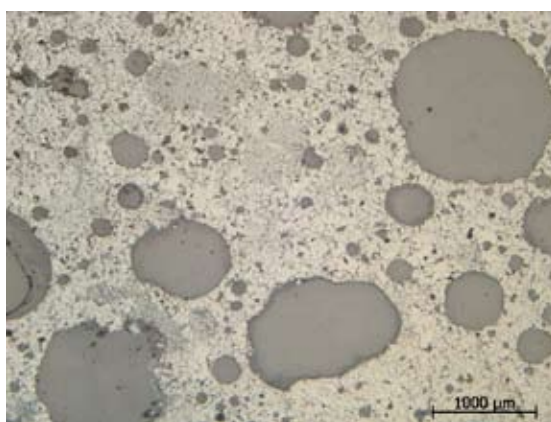
Trögfluten slagg (fig.2). Slaggen är i tvärsnitt porös, men tämligen homogen uppbyggd med avvikande material i ytterkanten. Analys av tunnslip.

### *Analys*

I mikroskala framgår också den stora mängden hålrum (fig. 3). Slaggen däremellan är mycket homogen och domineras, eller består nästan uteslutande, av wüstit som är tämligen grovkornig. I de små hålrummen mellan wüstitkornen finns olivinlameller och en glasfas. Små oregelbundna droppar av metalliskt järn finns, men är ojämnt fördelade i provet. Längs ytterkanter, och i en del hålrum finns kontakt mot ett kvarts- och fältspatrikt material som delvis har smält i den absoluta kontaktytan.



*Fig. 2. Trögfluten slagg, F76, med rikligt med kolavtryck och hålrum. Foto: Lena Grandin.*



*Fig. 3. I mikroskopet (genomfallande belysning) är den stora mängden hålrum påtalig (ore-gelbundna grå fläckar) liksom dominansen av wüstit (ljusaste fasen).*

### ***Tolkning***

Slaggen är homogen i sin sammansättning. Den har stelnat tämligen långsamt, mot ett sandigt/lerigt material. Dess totala innehåll av järn är mycket högt (jämför även de totalkemiska analysresultaten som följer) eftersom den domineras av wüstit. Denna höga järnhalt skulle kunna tyda på dålig utvinning av järn om detta är genomgående för slaggerna. En möjlig tolkning är också att slaggen stelnat i en nivå strax under där smältan har bildats, men idealt borde wüstiten ha fortsatt sin omvandling till metalliskt järn men miljön har i detta fall inte varit tillräckligt reducerande utan vi ser endast små koncentrationer av metall. En tredje möjlighet, men mindre trolig, är att slaggen inte är från framställningsprocessen utan från någon form av omsmältning där ett slaggförande järn har smälts om och en del järn då har oxiderat till wüstit

### **F88 A1926**

Stearinformad slagg (fig. 4). Tvärsnittet utgörs av flera pålagrade slaggsträngar i något varierande storlek. Slaggen är tämligen fri från porer men de som finns är koncentrerade till kontakterna mellan slaggsträngarna. Analys av tunnslip.



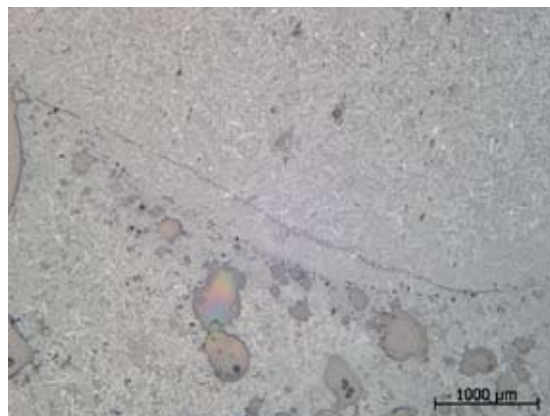
*Fig. 4. Stearinformat slag, F88. Översidan respektive undersidan där de enskilda slagsträngarna är tydligt urskiljbara. Foto: Lena Grandin.*

### **Analys**

I mikroskopet framträder kontakterna mellan de enskilda slagglödena främst med hjälp av porerna och en orientering av kristallerna (fig. 5). För övrigt är slaggen i centrala delar och ytterkanter av samma finkornighet och sammansättning är mycket likartad i hela provet, sånär som på någon enstaka sträng med avvikande proportioner. Slaggen innehåller finkornig dendritisk wüstit och olivinlameller i ungefär lika stor mängd och en glasfas i mindre mängd. Droppar av metalliskt järn finns tämligen homogent fördelade i de flesta slagsträngarna.

### **Tolkning**

Slaggen har bildats i ett tidigt skede i processen då mindre slaggmängder har runnit ner i slagguppsamlingsutrymmet och stelnat tämligen hastigt i en förhållandevis kall miljö. Den liknar F2, men är jämnare i kornstorlek. Jämfört med flera av den andra slaggerna är andelen olivin tämligen hög vilket också avspeglar sig i de kemiska analysresultaten med en av de lägre totalhalterna av järn.



*Fig. 5. Kontakt mellan två slagglöden i F88 framträder i påfallande belysning, övre bilden, med hjälp av koncentration av hålrum och kornformer. I genomfallande belysning, undre bilden, syns den ännu tydligare. Slagglödet i den nedre halvan av bilden med kortprismatiska kristaller avgränsas tydligt mot flödet i den övre halvan med långsmala kristaller.*

#### **F94 A619**

I det analyserade polerprovet ingår ett utsnitt genom flera tunna pålagrade slagglöden – karaktäristisk stearinslagg. Slaggen är mestadels tät men innehåller enstaka större hålrum.

#### **Analys**

I mikroskala är kontakten mellan de separata slagglöderna inte lika urskiljbara eftersom kristalltillväxt förefaller ha skett tvärs över kontakten och ingen avkylning har skett i den tidigare slaggen innan den senare har runnit fram. Kontakterna definieras tydligast med hjälp av ansamlingar av porer. Slaggen är genomgående finkornig och består av olivinlameller, en glasfas och finkornig dendritisk wüstit. Andelen olivin är högre än i F2, F21 och F35. Små droppar av metalliskt järn finns utspridda över stora delar av slaggen. Kornstorleken är endast något lägre i ytterkanterna än i mer centrala delar, men slaggen är genomgående tämligen tunn varför avkylningen varit tämligen likartad.

#### **Tolkning**

Slaggen visar drag som är karaktäristiska för slagger som successivt byggs upp av flera mindre slagglöden i ett tämligen tidigt skede i processen och samlats i ett slagguppsamlingsutrymme i blästugnens nedre del.

#### **F95 A619**

Trögfluten slagg. I tvärsnitt framträder en slagg med homogen sammansättning. Den är porös, men hålrummen är inte lika stora som i F76. Analys av tunnslip.

##### *Analys*

I mikroskala ses en dominans av relativt grov wüstit med lite olivin mellan wüstitkornen. En glasfas förekommer endast mycket sparsamt. Lokalt är wüstitmängden mindre och i dessa områden dominerar olivin med en glasfas i mindre mängd. Övergången till dessa områden är mycket diffus och inga kontakter mellan olika slagglöden kan urskiljas. I snittet finns också områden med tunna sliror av limonit vilka är sekundärt bildade och har ursprungligen varit metalliskt järn. Järn finns för övrigt enbart som enstaka små droppar som är fördelade i slaggen.

##### *Tolkning*

Slaggen har stelnat i reducerande miljö inne i ugnen, eller slagguppsamlingsutrymmet. Slaggen har kornstorlek likt F76, men mindre mängd wüstit. Wüstit innehåll är dock högre än i F21 som den också uppvisar liknande drag med. Det förefaller som om F95 har stelnat på en nivå där förhållandena har varit tämligen reducerande under dess avsvälning eftersom en del metalliskt järn har bildats, dvs. på en högre nivå i slagguppsamlingsutrymmet än stearinslaggerna.

#### **F101 A397**

Stearinformad slagg. I tvärsnitt syns kontakter mellan flera slagglängor, med skillnader i sammansättning. Analys av tunnslip.

##### *Analys*

I mikroskala framträder flera tydligt urskiljbara slagglöden. De innehåller alla olivinlameller, tunna dendritter av wüstit och en glasfas. Proportionerna mellan dessa varierar dock något mellan de enskilda flödena. Men det är skillnader i kornform, kristalltillväxtriktning och kornstorlek som tydligast markerar kontakterna mellan flödena. Slaggen är finkornigare än de trögflutna slaggen men inte extremt finkornig och skillnaden mellan flödernas centrala delar och ytterkanter är marginella. En del flöden innehåller små hålrum, medan andra är friare från porer. Metalliskt järn förekommer som enstaka små droppar och lokalt i en tunn zon längs en ytterkant. Ett avvikande inslag är ett fragment av siliaktrikt material. Detta är huvudsakligen finkornigt och delvis smält men innehåller grövre fraktioner, t.ex. kvartskorn, som inte är smälta.

##### *Tolkning*

Slaggen har bildats i ugnens slagguppsamlingsutrymme vid ett tidigt tillfälle i processen där slaggen har runnit i mindre flöden som har stelnat i relativt kall miljö. Den har stelnat tillsammans med finkornigt silikatrikt material som troligen är ett fragment från väggen.

## F126 A871

Stearinformad slagg som i tvärsnitt är ovanligt porös för att vara stearinslagg. Diffusa kontakter mellan flera flöden kan urskiljas. Analys av tunnslip.

### *Analys*

De diffusa kontakterna mellan flera slagglöden kan anas diffust även i mikroskop. Det finns dock inga sammansättningsskillnader mellan flödena eller några kornstorleksskillnader som antyder snabbare avkylning. Slaggen domineras genomgående av wüstit, tämligen grovkornig, med olivin och glas i mindre mängder. Metalliskt järn förekommer som enstaka, mycket små droppar som är utspridda i slaggen. Mer metalliskt järn har dock funnits i tunna sliror men dessa har rostet och bildat limonit. Sekundära bildningar förekommer också runt flera av slaggens hålrum. I slaggens ytterkanter har kvarts- och fältspatrikt material smält fast, liksom enstaka kolstycken.

### *Tolkning*

Det utvalda provet uppvisar drag som är mellanting mellan de tydliga stearinslaggerna med täta slagglöden och tydliga kontaktytor och finkornig slagg, och de trögflutna porösare slaggen med större slaggvolymer och grovkornigare slagg. Om vi jämför resultatet från mikroskopet med hela slaggen ser vi också denna övergång från tydligare strängar till större sammanhängande slaggvolum som bidrar till att slaggen stelnar långsammare och kristallerna blir grövre. Återigen rör det sig om en slagg som har byggts upp i slagguppsamlingsutrymmet, här med inledningsvis mindre slaggstängar och efterhand större slaggvolymer, och kunnat bilda en större slagg.

## Kemiska analyser av slagger

### Huvudsammansättning

Resultaten av de totalkemiska analyserna av de nio utvalda slaggen presenteras i sin helhet i tabell 2. Den största delen av slaggen utgörs av järn, i tabellen presenterat som  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Halterna är genomgående höga eller mycket höga, över 68 viktsprocent, i flera även över 80 %. Kisel är det ämne som är näst vanligast, vanligen mellan 10 och 20 % men i några når det ännu högre, som mest 28 % (fig. 6). Aluminium förekommer också i flera viktsprocent i de flesta slaggen. Alla dessa tre ämnen finns i malmer och härstammar till stor del från dessa även om kisel och framförallt aluminium också delvis kan komma från ugnsväggen. Mangan kommer också från malmen även om det är ett ämne som kan förekomma i väldigt varierande halter i de svenska malmerna. I de analyserade slaggen från denna undersökning varierar manganinnehållet från ca 0,5 % till knappt 7 %. Fosfor är ett ämne som är intressant för det tillverkade järnets sammansättning och kvalitet. Fosfor i måttliga halter i metallen ger den en hårdare och segare egenskap. Fosfor är ett ämne som kan förekomma i malmer och fördelar sig mellan metall och slagg under reduktionsprocessen. En hög fosforhalt i slaggen signalerar vanligen möjligheten för ett fosforinnehåll i metallen. Eftersom det inte finns något metalliskt järn att undersöka får vi se på slaggenas kemiska sammansättning. Fosforinnehållet i de analyserade slaggen varierar mellan 0,2 och 0,9 % fosfor (som  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Där endast två av dem når över 0,7 %, och de flesta ligger kring 0,6 % och därunder (fig. 7). Fosforhalten är inte extremt

Tabell 2. Totalkemiska analyser av slaggar från RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland. Den övre delen presenterar huvudelementen i oxidform (i viktsprocent), den undre övriga element (i mg/kg). Det totala järninnehållet ges i form av Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

| Viktsprocent/<br>mg/kg         | A20137<br>F2 | A9404<br>F21 | A1093<br>F35 | A1805<br>F76 | A1926<br>F88 | A619<br>F94 | A619<br>F95 | A397<br>F101 | A871<br>F126 |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 15,2         | 15,2         | 19,5         | 4,54         | 22,7         | 23,4        | 9,84        | 27,9         | 11,8         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,0720       | 0,0652       | 0,101        | 0,0291       | 0,142        | 0,128       | 0,0630      | 0,149        | 0,0539       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,27         | 1,79         | 4,63         | 1,05         | 5,76         | 3,63        | 0,937       | 3,64         | 1,33         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 84,9         | 89,1         | 70,9         | 104          | 72,6         | 77,2        | 95,8        | 67,9         | 92,3         |
| MnO                            | 4,77         | 1,00         | 6,81         | 0,561        | 2,37         | 1,56        | 1,93        | 3,58         | 0,642        |
| MgO                            | 0,244        | 0,221        | 0,409        | 0,115        | 0,440        | 0,307       | 0,272       | 0,343        | 0,223        |
| CaO                            | 1,18         | 1,09         | 1,86         | 0,284        | 2,10         | 0,877       | 0,781       | 2,14         | 0,850        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,391        | 0,311        | 0,500        | <0,05        | 0,626        | 0,606       | 0,0923      | 0,664        | 0,169        |
| K <sub>2</sub> O               | 0,681        | 0,541        | 0,823        | <0,06        | 1,04         | 1,13        | 0,179       | 1,29         | 0,343        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,277        | 0,208        | 0,540        | 0,324        | 0,575        | 0,952       | 0,585       | 0,721        | 0,462        |
| Glödförlust                    | -7,60        | -7,20        | -6,60        | -8,50        | -6,60        | -7,20       | -7,20       | -5,50        | -6,00        |
| Summa                          | 102          | 102          | 99,5         | 102          | 102          | 103         | 103         | 103          | 102          |
| Be                             | 5,20         | 7,13         | 5,49         | 7,35         | 9,51         | 6,59        | 4,69        | 4,83         | 4,83         |
| Sc                             | 3,81         | 3,23         | 8,29         | 10,2         | 7,37         | 4,52        | 6,30        | 7,77         | 4,59         |
| V                              | 84,2         | 84,7         | 125          | 128          | 80,2         | 86,4        | 262         | 90,2         | 116          |
| Cr                             | 18,9         | 12,1         | 33,4         | 21,9         | 18,2         | 46,6        | 34,0        | 40,9         | <10          |
| Co                             | <6           | <6           | <6           | <6           | <6           | 11,1        | <6          | <6           | <6           |
| Ni                             | 22,3         | <10          | 28,7         | <10          | 11,9         | 14,1        | <10         | 25,1         | <10          |
| Ga                             | 2,38         | 2,35         | 3,36         | 1,53         | 3,77         | 3,99        | 1,41        | 4,72         | 1,46         |
| Rb                             | 20,6         | 15,0         | 23,9         | 2,83         | 35,9         | 32,8        | 5,99        | 31,8         | 9,26         |
| Sr                             | 71,0         | 63,9         | 130          | 12,1         | 140          | 78,3        | 37,6        | 142          | 44,5         |
| Y                              | 49,9         | 83,7         | 133          | 72,9         | 145          | 68,9        | 79,3        | 168          | 71,8         |
| Zr                             | 68,7         | 56,6         | 85,3         | 29,1         | 119          | 86,7        | 114         | 117          | 98,4         |
| Nb                             | 3,05         | 2,62         | 4,67         | 1,60         | 5,92         | 4,55        | 3,01        | 6,32         | 2,66         |
| Mo                             | 59,0         | 19,7         | <2           | 26,2         | <2           | <2          | 9,29        | 9,83         | 56,7         |
| Ba                             | 3850         | 407          | 3650         | 44,3         | 1520         | 965         | 696         | 3710         | 246          |
| La                             | 61,2         | 53,2         | 155          | 94,3         | 146          | 75,9        | 47,7        | 131          | 36,5         |
| Ce                             | 144          | 112          | 485          | 244          | 462          | 201         | 105         | 261          | 85,7         |
| Pr                             | 15,5         | 12,4         | 41,5         | 32,2         | 49,2         | 20,8        | 12,7        | 35,7         | 9,80         |
| Nd                             | 62,7         | 50,6         | 164          | 124          | 195          | 79,7        | 55,5        | 147          | 40,8         |
| Sm                             | 11,7         | 9,37         | 31,0         | 24,8         | 40,2         | 14,5        | 11,1        | 29,2         | 7,97         |
| Eu                             | 1,57         | 1,52         | 4,32         | 3,39         | 5,66         | 2,07        | 1,79        | 4,31         | 1,45         |
| Gd                             | 9,96         | 10,0         | 28,8         | 19,9         | 34,4         | 13,6        | 12,9        | 29,9         | 9,34         |
| Tb                             | 1,38         | 1,45         | 3,98         | 2,83         | 4,82         | 1,75        | 1,96        | 4,30         | 1,36         |
| Dy                             | 8,73         | 9,00         | 23,5         | 16,1         | 29,1         | 10,9        | 12,3        | 25,9         | 8,97         |
| Ho                             | 1,78         | 2,20         | 4,95         | 3,18         | 5,83         | 2,24        | 2,82        | 5,62         | 2,09         |
| Er                             | 5,00         | 6,87         | 13,4         | 8,47         | 16,5         | 6,30        | 8,46        | 15,9         | 6,44         |
| Tm                             | 0,761        | 1,01         | 1,97         | 1,26         | 2,49         | 0,887       | 1,29        | 2,19         | 0,979        |
| Yb                             | 4,98         | 6,47         | 12,4         | 8,25         | 16,0         | 5,70        | 8,68        | 14,6         | 6,50         |
| Lu                             | 0,844        | 1,19         | 2,02         | 1,31         | 2,62         | 0,941       | 1,35        | 2,33         | 1,04         |
| Hf                             | 1,51         | 1,17         | 2,37         | 0,667        | 3,27         | 1,86        | 1,93        | 2,73         | 1,77         |
| Ta                             | 0,175        | 0,139        | 0,249        | 0,0649       | 0,315        | 0,251       | <0,06       | 0,299        | 0,0878       |
| W                              | 0,500        | 0,802        | 0,693        | 0,532        | 2,05         | 1,23        | 0,463       | 0,449        | <0,4         |
| Th                             | 1,98         | 1,38         | 6,51         | 5,04         | 4,63         | 2,38        | 3,07        | 6,30         | 2,70         |
| U                              | 6,09         | 5,18         | 3,65         | 5,98         | 16,8         | 5,28        | 1,46        | 5,64         | 3,27         |

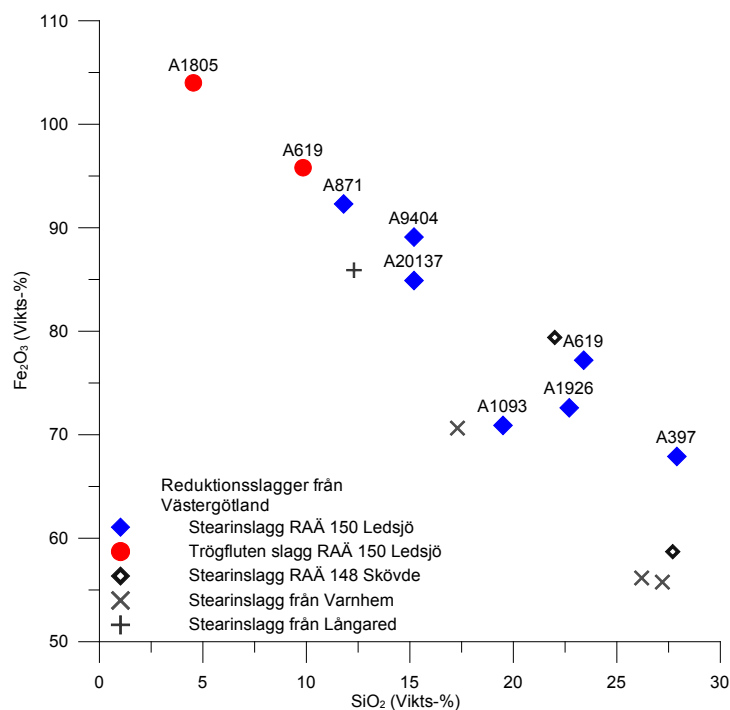


Fig. 6. Slaggenas innehåll av Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> jämfört med SiO<sub>2</sub>. Slagger från andra undersökta platser i Västergötland har infogats som jämförelse. Se texten för referenser. Dessa visar också en spridning i sammansättning.

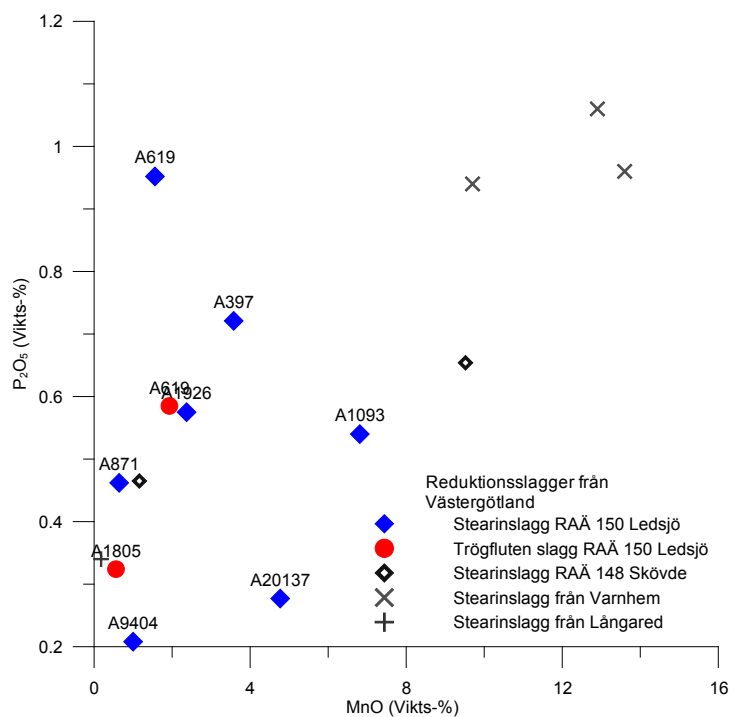


Fig. 7. Slaggenas innehåll av P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> jämfört med MnO. Slagger från andra undersökta platser i Västergötland har infogats som jämförelse. Se texten för referenser.

hög utan varierar inom samma intervall som det stora flertalet reduktions-slagger från Sverige gör (se vidare diskussion nedan) och visar varierande fosforinnehåll i malmen på motsvarande sätt som manganhalten varierar och det är möjligt att även järnet tagit upp lite fosfor under reduktionsprocessen i blästugnen.

### **Spridning och variation**

I regel har endast en slagg från varje utvald ugn analyserats. Endast från en av ugnarna, A619, finns två slagger, en stearinslag och en trögfluten. De flesta slaggerna är stearinformade slagger, två är trögflutna, förutom den från A619 är slaggen från A1805 trögfluten i sin karaktär. Den senare slaggen avviker från de andra genom sin extremt höga järnhalt, vilket också automatiskt innebär att övriga huvudelement förekommer i betydligt lägre halter än i de andra slaggerna. Slagg F76 från A1805 har till och med så höga järnhalter att analysresultaten visar på över 100 %. Detta är naturligtvis inte möjligt utan delvis en effekt av i vilken form som järnet förekommer och hur analysen går till (Provet vägs inledningsvis varefter det smälts (upphettas) vid 1000°C och vid denna temperatur kan järnet ändra sitt sätt att vara bundet till syre och därför minska eller öka i vikt beroende i vilken form det förekom innan analysen görs. De uppmätta halterna relateras sedan till den uppmätta vikten.) I de petrografiska undersökningarna framgår att slaggen domineras av wüstit, dvs. FeO. Om vi räknar om den teoretiska angivna Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-halten hamnar vi på ca 93,6% FeO vilket är rimligare, men fortfarande högt.

Urvalet från hela järnframställningsplatsen gjordes för att få en helhet över området, snarare än att jämföra olika ugnar. Med tanke på dateringsresultaten med de i princip samtida ugnarna förefaller detta vara en rimlig prioritering. Slaggerna som helhet visar ingen tydlig gruppering utan snarare en variation inom en ram, där samma ämnen finns i slaggerna med en kontinuerlig ökning eller minskning av korrelerande ämnen. Det senare framgår tydligt om man jämför järn och kisel, med en tydligt minskande järnhalt med ökande kiselinnehåll. En liknande bild får man vid jämförelse av järn och mangan.

### **Slagger från Ledsjö jämfört med andra västgötska slagger**

Frågan är hur stora dessa variationer är och om slaggerna som grupp skiljer sig från slagger från andra områden i Västergötland eller andra regioner. Inledningsvis har vi därför jämfört med analysresultat i GAL:s databas för slagger från Västergötland. Som nästa steg har vi gjort en enklare jämförelse med reduktionsslagger från stora delar av Sverige. De andra slaggerna från Västergötland kommer bland annat från en undersökning av RAÄ 148 i Skövde, genomförd av Västergötlands museum där järnframställning från två olika tidshorisonter undersöktes (Berglund et al 2005, s. 90). En äldre järnframställning, i perioden kring Kristi födelse, var boplatserelaterad men ingen bebyggelse kunde konstateras i anslutning till den yngre järnframställningen från 400-talets senare del och senare. Slagger av stearintyp från den äldre framställningen analyserades (Grandin m.fl. 2005). Analysresultat av slagger från två andra platser är hämtade från Arkeometallurgiska institutets analysserie och finns presenterade av Hjärthner-Holdar (1993, 46–50) där slaggerna också beskrivs. Från Långareds sn beskrivs en slagg från bronsålder funnen i ett gravröse. Denna slagg, liksom tre stycken från Varnhems sn,

också från bronsålder, är reduktionsslagger av steartyp med flera pålagrade slaggsträngar. Vi har därmed slagger från landskapet att jämföra med men av olika ålder. Om vi betraktar huvudämnena, som är de som huvudsakligen har ingått i analyserna av slagger från bronsålder, så faller slagger från Skövde och Långared mestadels inom samma ramar som slagger från Ledsjö (fig. 6–7). Slaggen från Varnhem avviker något, bland annat med en högre manganhalt i kombination med ett lägre järninnehåll. Dessa mangarika slagger har också de högsta fosforhalterna, kring 1 viktsprocent. En av slagger från Skövde visar stor överensstämmelse med slagger från Varnhem, medan den andra analyserade slaggen från Skövde uppvisar större likhet med slagger från Ledsjö som vi har analyserat nu. Det förefaller följaktligen som om de undersökta slagger från ugnarna i Ledsjö uppvisar en variation av samma storleksordning som detta begränsade urval från Västergötland i stort.

### Ledsjö ur ett större perspektiv

En jämförelse har också gjorts med ett större material reduktionsslagger från Sverige, och några från Norge, hämtade ur GAL:s databas. Oberoende av slaggerens datering eller fyndmiljö, visar dessa i stort visserligen en större spridning av data (fig. 8) än för slagger från Ledsjö, men de senare täcker in en förvånansvärt stor andel av de samlade analyserade slagger (ca 400

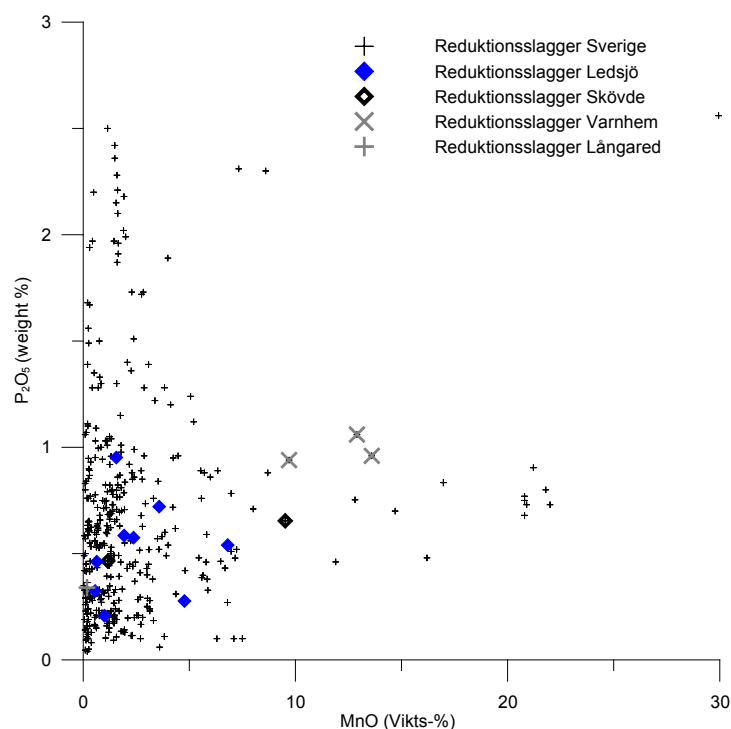


Fig. 8. En jämförelse har också gjorts med ett större material ur GAL:s databas. Oberoende av slaggerens datering eller fyndmiljö, visar dessa i stort visserligen en större spridning av data än för slagger från Ledsjö, men de senare täcker in en förvånansvärt stor andel av de samlade analyserade slagger (ca 400 st) utan att nå vare sig de högsta eller lägsta halterna.

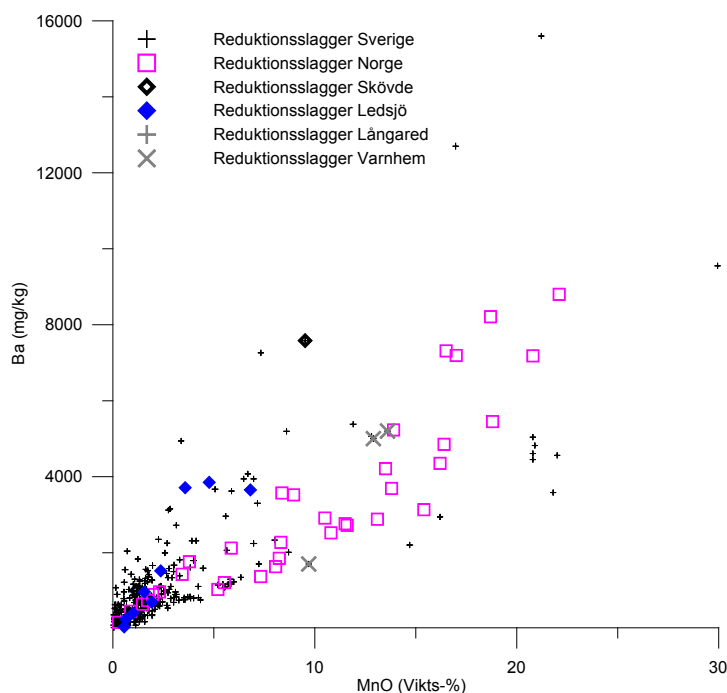


Fig. 9. Högre bariumphalter är korrelerade till högre manganhalter om vi ser på slagger i stort. Detta förhållande kan vi notera för slaggerna från Ledsjö med bariuminnehåll upp till ca 2000 mg/kg. I tre av slaggerna från Ledsjö, när barium upp i värden kring 4000 mg/kg och har tämligen konstant bariumphalt när manganhalten ökar. Se text för referenser.

st) utan att nå vare sig de högsta eller lägsta halterna för några ämnen, utom möjligen för järn som tillhör de absolut högsta.

Ett ämne som avviker från den generella spridningsbilden är dock barium som är ett spårämne som i de flesta analyserade slaggerna förekommer i halter om några hundra, eller ca 1000 mg/kg. I tre av slaggerna från Ledsjö, liksom i slaggerna från Varnhem når barium upp i värden kring 4000 respektive 5000 mg/kg och i en slagg från Skövde ännu högre. Högre bariumphalter är korrelerade till högre manganhalter om vi ser på slagger i stort. Detta förhållande kan vi notera för slaggerna från Ledsjö med bariuminnehåll upp till ca 2000 mg/kg men de som har högre bariumphalt, kring 4000 mg/kg, har tämligen konstant bariumphalt när manganhalten ökar. Mangan har sitt ursprung enbart i malmen och frågan blir om även barium har det. Höga mangan- och bariumphalter är associerade på många platser, bland annat från St Åby i Järnstad, Östergötland (Englund & Larsson 1998) där bland annat 17 förhistoriska blästugnar och en boplats undersöktes i slutet av 1990-talet av Länsmuseum i Östergötland och UV Öst. Ett annat tydligt exempel är det omfattande järnframställningsområdet från medeltid i Gråfjell, Hedmark fylke i Norge, undersökt av Kulturhistorisk Museum i Oslo. Där är dessa båda ämnen korrelerade från låga till mycket höga halter (Grandin m.fl. 2005, Andersson m.fl. 2006). Variationen uppträder inom ett och samma område med en extremt likartad organisation kring ugnskonstruktion och struktur på varje enskild plats (Rundberget 2007).

## Keramiska analyser

### Registrering

Ett urval av det keramiska fyndmaterialet från Ledsjö har registrerats utifrån teknologiska kriterier. Fynden kommer från sju blästugnslämningar (A397, A619, A1093, A6155, A9404, A210137, A 21038) en brunn (4702), en grop (A707) och en anläggning registrerad som hårdgrop (A379).

#### A397

De keramiska fynden i F105–108 har registrerats. Materialet kan delas upp i fyra grupper – schaktväggsrester där såväl insida som utsida verkar ha bevarats; schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan; smälta, förglasade fragment och övriga fragment.

Sexton fragment kan hänföras till den första gruppen. Fragmenten, varav det största är 13×9 cm, har en jämn, avstruken oxiderad sida som ser ut som en ursprunglig utsida på schaktväggen. På delar av utsidan av de två största fragmenten finns ett extra, tunt lerlager, som skulle kunna vara ett reparationslager (fig. 10). Ett mindre område av detta lager som är nära den förglasade zonen är nästan sintrat. På den motsatta sidan har 14 av fragmenten en förglasad rak till konkav yta som – åtminstone på någon tidpunkt – har utgjort schaktets insida. På två av dessa fragment observerades halm(?) flätverksavtryck på den delvis förglasade insidan (fig. 11). Liknande avtryck har observerats på ytterligare två fragment, där dock ytan inte är förglasad men grå och sintrad. Den förglasade/sintrade och reducerade zonen sträcker sig mellan 3 och 10 mm in i schaktväggarna med en total tjocklek mellan 10 och 26 mm. Det vill säga att lite mindre än hälften av schaktväggens tjocklek har sintrats/förglasats. Det mesta av schaktväggens resterande tjocklek samt utsidan är bränd i en oxiderande atmosfär. Tjugofyra fragment har en sintrad



*Fig. 10. Foto av den bevarade utsidan på ugnsschaktfragment med rester av ytterligare ytskikt (till vänster på fragmentet), som kan vara en ursprunglig del av konstruktionen eller en reparation. A397. Foto: Svante Forenius.*



Fig. 11. Foto av den sintrade insidan på ett ugnsschaktfragment med avtryck efter en flätverkskonstruktion. A397. Foto: Svante Forenius.

till förglasad insida och en brottyta på den motsatta sidan. På sex av dessa bär den enbart sintrade insidan avtryck av en flätverkskonstruktion liknande de som observerats på fragmenten ovan. Även dimensionerna är jämförbara med tjocklekar mellan >10 mm och >21 mm.

Schaktväggens gods i dessa och ovannämnda fragment består av en relativt fin, siltig-finsandig lera rikt magrad med växtdelar (ev. tröskavfall) och möjligen en mindre andel av finkrossad bergart (< 1 mm max. korn). Enstaka större lösa glimmerkorn i godset tyder på att finkrossad granit har tillsatts.

Ett trettiofem små till mellanstora fragment var helt förglasade och har tydligen varit i ett flytande tillstånd med tappformade strukturer till följd. Andra fragment tycks bestå av flera deformerade, sekundärt sammansmälta fragment. Dessa fragment, som alla är registrerade under F105, skulle kunna vara rester av schaktvägg som har lossnat under eller efter blåsningen och har smält ihop under samma eller en eventuell efterföljande blåsning. Det första är det mest troliga eftersom ugnarna har rensats ut efter första blåsningen och eventuella rester som kan ha blivit kvar skulle ha fastnat i slaggklumpen som bildats under en eventuell andra blåsning.

Bland de övriga keramiska fragmenten från denna ugn är det mest intressanta fyra helt eller delvis förglasade fragment med rester av ett blästerhåll/avtryck efter blästerröret och i några fall metallinklusioner på insidan.

Åtminstone huvudparten av ugnsschaktväggsfragmenten i dessa fynd härör med stor sannolikhet från samma konstruktion.

#### A20137

De keramiska fynden i F1 och F117 har registrerats. Materialet kan uppdelas i fyra grupper – schaktväggsrester där såväl insida som utsida verkar ha bevarats; schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan; smälta, förglasade fragment och övriga fragment.

Till den första gruppen kan fem fragment räknas. Tjockleken varierar mellan 8 och 23 mm och den sintrade förglasade zonen är 4–12 mm bred.

Bland de fem fragmenten i den andra gruppen, där utsidan utgörs av en brottyta, har tre avtryck av en flätverkskonstruktion på den sintrade insidan (fig. 12). I två fall uppträder parallella ca 1 cm breda, platta och grunda avtryck. Schaktväggens gods i dessa och ovannämnda fragment består av en fin, siltig-finsandig lera rikt magrad med växtdelar. Andelen växtmagring förefaller större än i godset från A397.

Ett 50-tal mindre fragment är tilldels kraftigt sintrade/förglasade utan att uppvisa samma flytstrukturer som fragmenten i A397.

De övriga fragmenten var av samma gods som schaktväggarna ovan och hela materialet härrör mest sannolikt från samma konstruktion.

Provet F118 av den nedersta, underjordiska delen av schaktväggen har tagits ur denna ugnsanläggning.



*Fig. 12. Foto av den sintrade insidan på två ugnsschaktfragment varav den lägre brända har bevarat avtryck efter en flätverkskonstruktion. Avtrycken består av såväl bredare som smala, halmliknande. A20137. Foto: Svante Forenius.*

### **A20138**

De keramiska fynden i F109–112 har registrerats. Materialet kan uppdelas i fyra grupper – schaktväggsrester där såväl insida som utsida verkar ha bevarats; schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan; fragment av samma typ som i de två föregående grupperna, men med icke-sintrad yta med flätverksavtryck samt övriga fragment.

Sexton fragment hör till den första gruppen. Ett av dessa bär rester av flätverksavtryck på den förglasade insidan. Tjockleken på schaktväggen varierar mellan 11 och 18 mm och den förglasade zonen är mellan 3 och 7 mm tjock.

Av de 14 fragmenten i den andra gruppen bär fem fragment rester av flätverksavtryck på den sintrade, delvis blåsiga insidan. Avtrycken på ett av fragmenten består av 9–10 mm breda grunda avtryck och smalare, halmliknande

avtryck (jfr fig. 12). Tjockleken på schaktväggen varierar mellan 12 och 20 mm och den förglasade zonen är mellan 1 och 10 mm tjock.

Schaktväggens gods i dessa och ovannämnda fragment består av en sil-tig-finsandig mellanlera rikt magrad med växtdelar motsvarande godset i A20137.

På tre fragment, varav det största är 8×6 cm, med samma utseende som ovan är sidan med flätverksavtryck inte sintrad. Tjockleken på dessa fragment är 14–23 mm och godset det samma som i de andra schaktfragmenten.

De mer än 100 övriga, huvudsakligen små fragmenten, verkar vara av samma gods som det ovan beskrivna materialet och allt kan härröra från samma konstruktion.

#### **A9404**

De keramiska fynden i F23 har registrerats. Materialet består av schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan och övriga mindre, delvis smälta fragment.

Tretton fragment har en glasad, delvis runnen, reducerad insida och en oxiderad brottyta på den motsatta sidan. Tjockleken varierar mellan >10 mm och >32 mm med en 5–22 mm tjock förglasad zon som samtidigt utgör den reducerade delen av schaktväggen. Just detta tyder på att väggen knappast har varit så mycket tjockare eftersom detta borde ha resulterat i reducerande förhållande längre in i väggen. Inga spår av flätverk på insidan eller den bevarade utsidan har observerats. Godset är det samma som i schaktfragmenten från A20137.

De 40 övriga mer eller mindre smälta fragmenten kan komma från samma konstruktion.

#### **A619**

De keramiska fynden i F97–99 har registrerats. Materialet kan uppdelas i två grupper – schaktväggsrester där såväl insida som utsida verkar ha bevarats samt lågt brända, oxiderade och reducerade fragment. Cirka 25 fragment har en sida med flätverksavtryck och en motstående avstruken, plan sida. Fragmenten är alla genomoxiderade och med ett par undantag inte högt brända (se nedan). Flätverksavtrycket på de två undantagen är sintrat eller nära sintring men inte reducerat bränt. Den största tjockleken på fragmenten ligger mellan 13 och 20 mm.

De ca 100 övriga fragmenten är också huvudsakligen lågt brända – oxiderade eller reducerade – medan enstaka har mindre sintrade partier. Trots storlekar upp till 4×6 cm och en tjocklek upp till 30 mm är det bara enstaka fragment som bär rester av någon ursprunglig yta och ingen har några rester av flätverksavtryck.

Det tycks omedelbart möjligt att förklara materialet som de yttre, lägre brända (oxiderat) delarna av en ugnsschaktvägg uppbyggd kring ett vidjeflätverk, som i vissa fall har sintrats av värmen genom den inre delen av schaktväggen. Problemet med tolkningen är att rester av denna inre del inte har hittats i anläggningen trots att just de glasade delarna av insidan borde ha störst chans att bevaras. Därför är det mera troligt att denna ugn har konstruerats på samma sätt som ovanstående ugnar, men av någon anledning inte har utsatts för så höga temperaturer.

Under registreringen bedömdes godset variera mellan en siltrik mellanlera med en del växtmagring och en sandrik, grov lera utan växtmagring. Mikroskoperingen av polerade ytor på två prover (F98 och F99) visade emellertid att samma gods bestod av en ganska fin, siltig lera med en liten andel finfördelad växtmaterial. Trots detta tycks det finnas en större godsvariation i fyndmaterialet från A619 än från de andra anläggningarna och det är därför tveksamt om alla fragment härrör från samma konstruktion.

#### **A6155**

De keramiska fynden i F10–12 har registrerats. Materialet kan uppdelas i två grupper – schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan samt lågtbrända fragment varav några med flätverksavtryck.

Fyra upp till 8×6 cm stora fragment har en 5–8 mm tjock förglasad zon på insidan och delvis spjälad yta på utsidan. De kan alltså ha varit något tjockare än den uppmätta största tjockleken mellan >13 mm och >16 mm. Inga spår efter flätverkskonstruktion har observerats.

Svaga spår efter flätverkskonstruktion finns däremot på enstaka av de lågtbrända, oxiderade fragmenten, som också ingår i fyndet.

Godset i den första gruppen består av en finsandrik mellanlera magrad med en del växtmaterial och möjligen en mindre tillsatts av finkrossad granit som godset i schaktväggsfragmenten från A397. Godset i den andra gruppen består däremot av en fin, siltig lera magrad med en mindre mängd växtmaterial. Detta har sin närmaste parallell i godset i de mikroskoperade proven från anläggning A619 ovan. Det finns således tecken på att den tekniska keramiken från A6155 härrör från minst två olika konstruktioner.

#### **A4702 (brunn)**

I anläggning A4702, tolkad som en brunn, påträffades ett antal keramiska fragment med en bred förglasad zon (10 mm) och en samlad tjocklek upp till 32 mm. Som i fragmenten ovan saknas spår av reducering innanför den förglasade zonen. Inga spår av flätverk har observerats. Ändå skulle dessa fragment kunna härröra från den inre delen av en mera traditionellt konstruerat schaktvägg (jfr beskrivningen i inledningen). Alternativt kan det röra sig om rester efter en i så fall extraordinärt tjock ässjefodring. Mikroskopering av polerade ytor på ett par av dessa fragment visade på lera varierande från en fin, siltig kvalitet till en grövre siltrik. I inget av fragmenten observerades spår efter växtfragment. Närmaste paralleller till godskvaliteten är proven från A619 och A6155.

#### **A707**

De keramiska fynden i F61 har registrerats. Materialet kan delas upp i fyra grupper – schaktväggsrester där såväl insida som utsida verkar ha bevarats; schaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan; fragment med bevarad utsida och brottyta på sidan som varit närmast värmekällan i.e. insidan samt övriga fragment.

Tio upp till 14,5×12,5 cm stora schaktväggsfragment kan räknas till den första gruppen. På nio av fragmenten är insidan förglasad medan utsidan har en slät, oxiderad yta. Det tionde fragmentet har i motsatts till dessa ett sintrat avtryck av flätverk på insidan. Utsidan är konkav i det vertikala

planet och en yttre diameter har utifrån krökningen kunnat beräknas till ca 25 cm, vilket tillsammans indikerar att detta skulle kunna vara en del av schaktväggens topp. Med tanke på den sintrade ytan kan det inte uteslutas att fragmentet härrör från en annan, lägre del av schaktet där temperaturen varit högre. I området runt blästeröppningen kan ugnsväggar ha en mera oregelbunden form, dvs. krökningen följer inte schaktets normala rundning i horisontalplanet.

De tio väggfragmentens tjocklek varierar mellan 18 och 34 mm, varav den förglasade zonen utgör mellan 5 och 15 mm dvs. från mindre än en tredjedel till nästan hälften av schaktväggens tjocklek.

Den andra gruppen omfattar sex fragment med tydliga, något sintrade flätverks- eller halmavtryck på den högt brända, reducerade insidan(?) medan den motstående brottytan är oxiderad och lägre bränd (fig. 13). Fragmentens största tjocklek varierar från > 8 mm till >23 mm.

Den tredje gruppen omfattar ett antal fragment med en oxiderad jämn yta som liknar utsidan på fragmenten i den första gruppen. Slutligen finns det ett 100-tal mindre fragment som är huvudsakligen oxiderat brända till en låg temperatur. Enstaka har rester av flätverksavtryck och enstaka är delvis sintrade.

Registreringen och den efterföljande mikroskoperingen av en polerad yta på ett prov visade båda på ett gods av en siltrik, finsandig mellanlera magrad med 15–20 % krossad granit med en maximal kornstorlek på 3–4 mm samt en hel del växtmaterial. Detta gods är gemensamt för de olika grupperna av material från denna anläggning.

De keramiska fynden från A707 tolkas bäst som olika delar av en schaktvägg som har utsatts för högre (förglasad insida) respektive något lägre temperaturer (flätverksavtryck på insidan) på grund av deras placering nära blästeröppningen respektive högre upp i konstruktionen.



*Fig. 13. Foto av den sintrade insidan på ett ugnsschaktfragment med halmavtryck. A707. Foto: Svante Forenius.*

### A1093

De keramiska fynden i F36–37 har registrerats. Materialet kan delas upp i tre grupper – ugnsschaktväggsrester med en brottyta på den motsatta sidan av den högre brända insidan; övriga schaktväggsfragment samt sekundärt brända skärvor.

Den första gruppen omfattar 11 fragment varav ett har ett tydligt, oxiderat, lågtbränt flätverksavtryck på den förmodade insidan och en

brottyta på motsatta sida. De övriga fragmenten i denna grupp har istället en kraftigt sintrad eller förglasad insida och en oxiderad bränd brottyta på motsatta sidan. Ett fragment har ett anmärkningsvärt, koniskt brott på ena sidan, som kan vara en del av blästerhålet. Den största tjockleken på dessa fragment varierar från >17 mm till >37 mm. Den förglasade zonen är upp till 6 mm tjock. Bland 40-talet övriga, mindre fragment som också kan härröra från en schaktvägg finns även ett 40 mm tjockt genomsintrat stycke utan formkaraktistika. Det kan röra sig om en sekundär bränning av ett schaktväggsfragment i samband med återanvändning av blästugnen.

Godset i schaktväggsfragmenten är närt besläktat med godset i väggfragmenten från A707. En finsandrik mellanlera har magrats med 15–20 % krossad granit med en maximal kornstorlek på 2–3 mm (enligt mikroskopering – korn upp till 6 mm har observerats under registreringen) och en mindre andel växtmaterial.

De två skärvorna i fyndmaterialet är sekundärt brända. De har inte studerats närmare i detta sammanhang. Antagligen har de hamnat bland det tekniskt keramiska materialet av en slump. De utgör ett förväntat fyndmaterial med tanke på lokalisering av metallhanteringen till en boplatsyta.

### A379

De keramiska fynden i F52 har registrerats. Materialet består av fem – upp till 5×5 cm stora – fragment med en glasad och blåsig insida och en oxiderad brottyta på den motsatta sidan, i ett fall med ett tydligt pinnavtryck från en flätverkskonstruktion (fig. 14). Fragmentens största tjocklek varierar från 22 till 42 mm. Den förglasade zonen är mellan 14 och 20 mm bred och den reducerade zonen ytterligare 6–20 mm bred, vilket betyder att enbart ett par millimeter närmast den yttre brottytan är oxiderade.



*Fig. 14. Foto av ugnsschaktfragment med den mörka förglasade sidan närmast underlagret och rester av ett pinnavtryck på den motsatta sidan. A379. Foto: Svante Forenius.*

Godset i schaktväggsfragmenten består av en finsandrik mellanlera eller grövre lera utan makroskopiskt observerbar tillsatts av magring.

Dessa fragment representerar vad som normalt betraktas som typiska rester efter den inre delen av en ugnsschaktvägg.

### **Resultat av termiska analyser**

Fem prov av ugnsschaktvägg från A397, A619, A1093, A4702 och A20137 samt ett prov från den nedgrävda, låg- eller obrända basen till schaktväggen i A20137 (F118) har underkastats termiska analyser.

Resultaten visade på termiskt sett mycket ensartade leror i schaktväggsfragmenten medan provet av låg- eller obränd lera avviker. Proven från A397, A1093, A4702 och A20137 har likartade färgutvecklingar under 1000°C och samma sintringsintervall där godset börjar sintra mellan 900 och 1000°C, börjar smälta vid 1200°C och är smält efter 10 minuter vid 1250°C. Dessa fyra prov omfattar gods med rik växtmagring; med liten tillsatts av växtmagring och med en rik blandad magring av krossad granit och växtmaterial. Därav ses att de olika magringstyperna inte har något inflytande på godsets refraktivitet. De yttre oxiderade delarna av dessa prov har bränts till 700°C (A 1093 och A20137) respektive 800°C (A 4702) och 900°C (A397) medan de förglasade zonerna med hänsyn tagen till järnets flussande effekt sannolikt inte har utsatts för mer än 1150–1200°C. Med tanke på de relativt smala förglasade zonerna har schaktväggen knappast utsatts för denna temperatur i mer än 15–20 minuter.

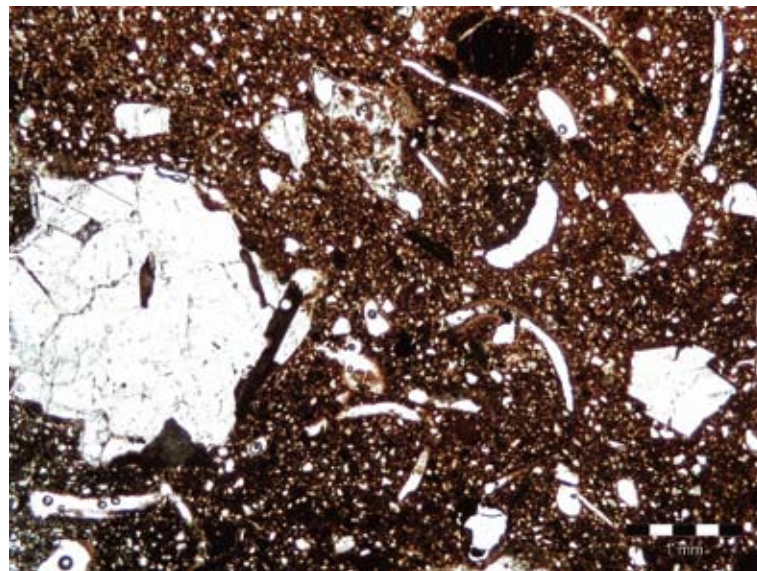
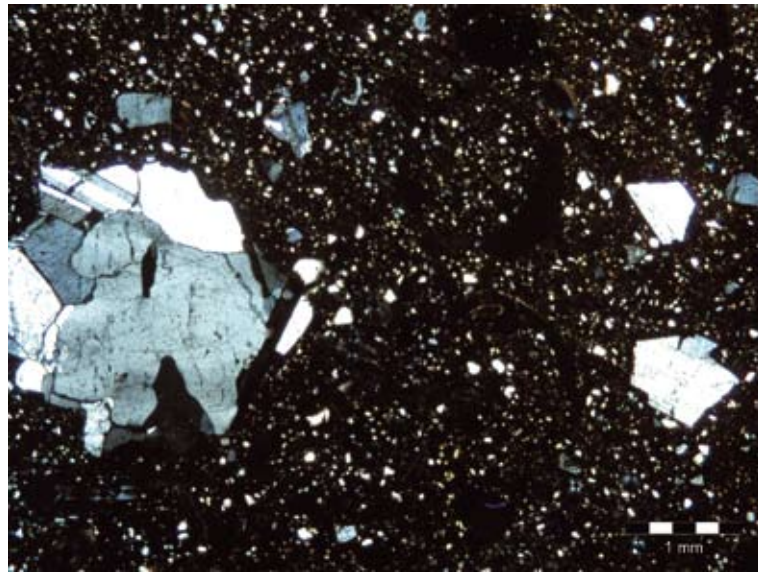
Provet från A619 har en lite annorlunda färgutveckling under 1000°C och börjar redan smälta vid 1150°C men är först helt smält vid 1250°C som de övriga schaktväggsproven.

Provet av schaktväggsbasen från A20137 har en något annorlunda refraktivitet. Materialet mörknar först vid en 50 grader högre temperatur (1050°C) än de övriga proven, börjar smälta vid 1250°C och är smält efter 10 minuter vid 1300°C. Att döma av färgutvecklingen var provet inte bränt innan den uppvärmningen under den termiska analysen eller kan möjligen ha rehydrerats efter en bränning till temperaturer kring 400°C. Viktigt för jämförelsen med godset i schaktväggarna är observationen att materialet är mycket skört upp till 1050°C, vilket indikerar att lerhalten antagligen är mycket låg. En hög andel silt och finsand skulle även kunna förklara lerans bättre refraktivitet. Detta betyder att provet från A20137, som sannolikt var från basen för ugnsschaktet, bestod av ett material som mera motsvarade undergrunden och därmed skilde sig från resten av schaktet.

Huvudresultatet av de termiska analyserna innebär att det är i grunden samma lera som har använts till alla analyserade schaktväggar. Dock är provet från A20137 inte en lågtbränd del av schaktväggen, men snarare ett separat fundament, som har gjorts av en annan lera/lerhaltigt material.

### **Mikroskopering av tunnslip**

En närmare analys har gjorts av det blandmagrade godset i prov F61 från A707. Schaktväggen har gjorts av en sorterad, kalkfri mellanlera. Den siltrika, finsandiga leran är rik på järnoxid och innehåller en hel del små ferrihydroxidanhopningar. Detta är sannolikt förklaringen på att detta och andra gods från Ledsjö smälter vid relativt låga temperaturer.



*Fig.15. Mikroskopfoto av tunnslip av godset i ugnsschaktfragment F61 från A707, Ledsjö. I det övre fotot i korspolariserat ljus framträder granitmagringen tydligt medan hålrummen efter växtmagringen. Samma del av godset ses i det nedre fotot i planpolariserat ljus.*

Leran har magrats med en 1:1-blanding av krossad granit och växtdelar (fig. 15). Av de senare återstår enbart hålrum men bedömt utifrån den smala, avlånga formen kan det mycket väl röra sig om stråfragment eventuellt från tröskavfall. Mängden uppgår för båda materialen till 7–9 % (volym) vilket ger en total magringsmängd på 14–16 %. Även den maximala kornstorleken är identisk med 2,7 mm för graniten och 2,5 mm för växtmagringen. När det gäller den genomsnittligt största kornstorleken (beräknad 5 näst största korn) är skillnaden lite större – 2 mm respektive 1,4 mm – vilket visar att växtmaterialet är aningen mera finfördelat. Överensstämmelsen i magringskvalitet motsvaras av en mycket bra homogenisering av godset. Det har offrats en hel del möda och tid på detta gods.

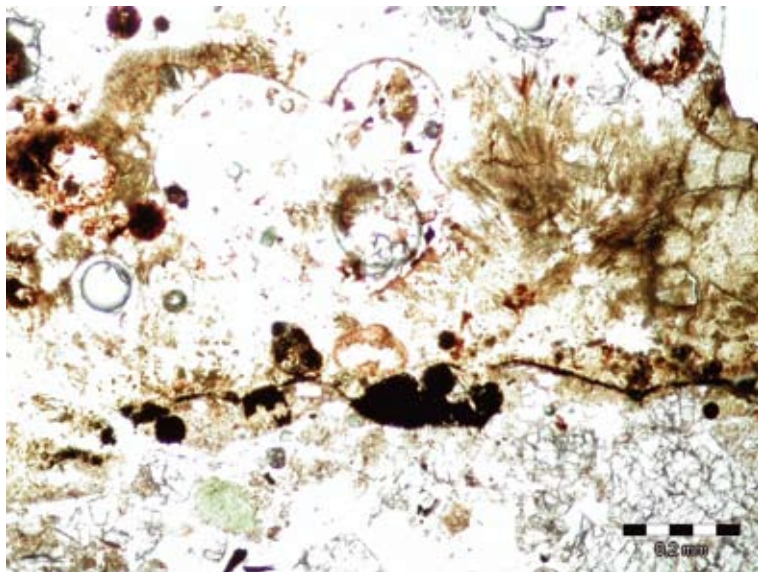


Fig. 16. Mikroskopfoto av tunnslip av godset i ugnsschaktfragment F61 från A707. I den nedre delen av godset ses en kant av svarta slagginklusioner som trängt in i schaktväggen från den sintrade insidan precis utanför fotots nedre kant. Planpolariserat ljus.

Godset verkar ha dubbla rötter i såväl krukmakare- som teknisk keramisk tradition. Användningen av växtmagring är välkänd i såväl schaktväggar (Stilborg 2006a) som ässjefodringar (Stilborg 2006b) medan det växtmagrade kärlgodset (tröskmagring) utgör en liten, avgränsad grupp i Skåne och på Själland kring år 0 (Stilborg 2008). Granit är det överlägset dominerande magringsmedlet till kärlgods och kan uppträda som tillsatts i gjutformar och deglar, men Ledsjöfynden är de hitintills enda kända ugnsschaktväggarna med krossmagring. Utöver graniten har även magringskvaliteten en tydlig koppling till periodens kärlgods. Med en volym på 14–16 % och 2,7 mm i maxkorn svarar magringskvaliteten mot vanligt förekommande äldre järnåldersgods.

Ytterligare en intressant observation gjordes i tunnslipet nära schaktväggens insida. Ca 2 mm inne i godset och parallellt med insidan finns en rand av små mängder inträngd slagg (fig. 16). Detta visar tydligt att det som nu framstår som insida rent faktisk har varit insidan av ugnen under åtminstone en blåsning, vilket stöder konstruktionstolkningen med ett inre flätverk utan lera på insidan.

### Ugnsanläggningarna

Inom den undersökta ytan på fornlämning RAÄ 150 har sjuttiofem anläggningar registrerats som blästugnar. Av dessa undersöktes 7 helt, 21 till hälften medan resterande 47 endast mättes in och besiktigades okulärt. De undersökta blästugnarna var samtliga av typen schaktugnar med underliggande grop för slagguppsamling. Inom denna ugnstyp förekommer stora variationer, inte minst beträffande storleken.

På några ställen inom undersökningsytan låg ugnarna i mer eller mindre täta och tydliga grupper (fig. 17). I den södra änden fanns en grupp om fem ugnar i sicksack placering: A4956, A4932, A4982, A4993, A5038. Ingen



*Fig. 17. Den största koncentrationen av ugnslämningar låg i undersökningsområdets mellersta del, väster om en huslämning markerad av blå pinnar. Foto: Svante Forenius.*

av dessa har daterats. Strax nordost om dessa, invid en brunn, låg två ugnar, A4610 och A4624, daterade till  $1\,235 \pm 25$  BP respektive  $1\,400 \pm 25$  BP. Alla övriga ugnsdateringar låg inom ett relativt snävt intervall (se dateringar nedan). Längre norrut låg förutom spridda ugnar tre något tätare grupper i varsin spets av en triangel med ca 12 m sida. I den södra spetsen låg sex ugnar mycket tätt, delvis i varandra: A244, A292, A6155, A20136, A20137 och A20138 (fig. 18–19). Strax öster om dessa låg ytterligare tre: A432, A449 och A5127. Något längre söderut låg: A397, A417 och A538. Drygt 10 m ostnordost om A244 m fl låg en något glesare grupp om sex ugnar: A5390, A5377, A20001, A5403, A5849 och A5835. Ca 10 m norr om den täta gruppen med bl.a. A244 låg ytterligare en grupp om fem ugnar: A5279, A9404, A9419, A9434 och A10727. Omkring 80 m norr om den sistnämnda gruppen låg tre ugnar relativt tätt: A9160, A9174 och A9187.

På det hela taget var de bevarade ugnsresterna i Ledsjö mycket lika varandra i plan. Det enda som återstod av ugnarna var de mer eller mindre bevarade groparna för slagguppsamling som låg under de schakt där reduktionsprocessen ägde rum. Groparna framträdde vid avbaning som runda, ca 0,5 m stora fläckar ofta med både slagg och bränd lera från schaktväggar liggande i ytan. I en del fall kunde man även skönja en kant av avvikande material, lera/silt, runt fläcken med slagg och bränd lera. Kanten utgjorde den nedre delen av eller fundamentet till det schakt som stått över den bevarade gropen. Groparnas bevarade djup varierade mellan 0,24 och 0,44 m. Ugnarna behandlas vidare i kapitlet tolkning och diskussion.



Fig. 18. De sex tätt liggande ugnslämningarna A244, A292, A6155, A20136, A20137 och A20138, från norr. Foto: Svante Forenius.

## Dateringar

Dateringen av ugnslämningarna i Ledsjö ligger med två undantag inom ett relativt snävt intervall i romersk järnålder (tabell 3). De flesta daterade ugnslämningarna låg i det ugnstätaste området i mitten av undersökningsytan. En ugnslämning, A9922, låg i den nordligaste delen. De två anläggningarna, A4610 och A4624, som avsevärt avvek från de övriga beträffande dateringarna låg i den södra delen.

Tabell 3. Resultat av  $^{14}\text{C}$ -dateringar av träkol från blästugnar, RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland.

| Labnummer | Prov            | $\delta^{13}\text{C}\text{‰ PDB}$ | $^{14}\text{C}$ -ålder BP | Kal. med 1 $\sigma$ |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Ua-28521  | A244, PK 9560   | -25,3                             | 1 785 $\pm$ 25            | 170–330 AD          |
| Ua-28522  | A292, PK 9561   | -24,9                             | 1 870 $\pm$ 25            | 80–210 AD           |
| Ua-28523  | A619, PK 6310   | -25,0                             | 1 895 $\pm$ 25            | 75–130 AD           |
| Ua-28525  | A1900, PK 9567  | -26,9                             | 1 790 $\pm$ 25            | 140–320 AD          |
| Ua-28527  | A4610, PK 9569  | -27,6                             | 1 235 $\pm$ 25            | 690–860 AD          |
| Ua-28528  | A4624, PK 0857  | -27,4                             | 1 400 $\pm$ 25            | 620–660 AD          |
| Ua-28529  | A5638, PK 7533  | -26,3                             | 1 815 $\pm$ 25            | 135–240 AD          |
| Ua-28530  | A6155, PK 9562  | -24,6                             | 1 860 $\pm$ 25            | 90–220 AD           |
| Ua-28531  | A20136, PK 9563 | -26,0                             | 1 880 $\pm$ 25            | 70–210 AD           |
| Ua-28533  | A9922           | -26,0                             | 1 855 $\pm$ 30            | 125–220 AD          |

Fig. 19. (Motsående sida) Plan och profiler över sex tätt liggande ugnar. Skala 1:20.

*Lagerbeskrivningar:*

*A20138*

1. Mycket rikligt med bränd lera i horisontella skikt och enstaka stora täta slaggbitar.
2. Rostbrunt lager med porös småslagg och enstaka stearinslagg.
3. Träkol som gick in under lager 5.
4. Siltig mjäla med sten.
- 5 Siltig lera (schaktväggens bas).

*A20136 och 20137*

1. Sand.
2. Siltig lera.
3. Småslagg, bränd lera, jord.
4. Kol och sot. Jordblandat.
5. Rostbrunt lager med småslagger. Något sot och kol. Ingen bränd lera.
6. Siltig lera.
7. Som 3.
8. Som 5.
9. Kol och sot. Kolet huvudsakligen i två riktningar i kanterna av gropen.
10. Siltig lera.
11. Hårt packad (värmepåverkad?) silt. Sten av varierande storlek.

*A292*

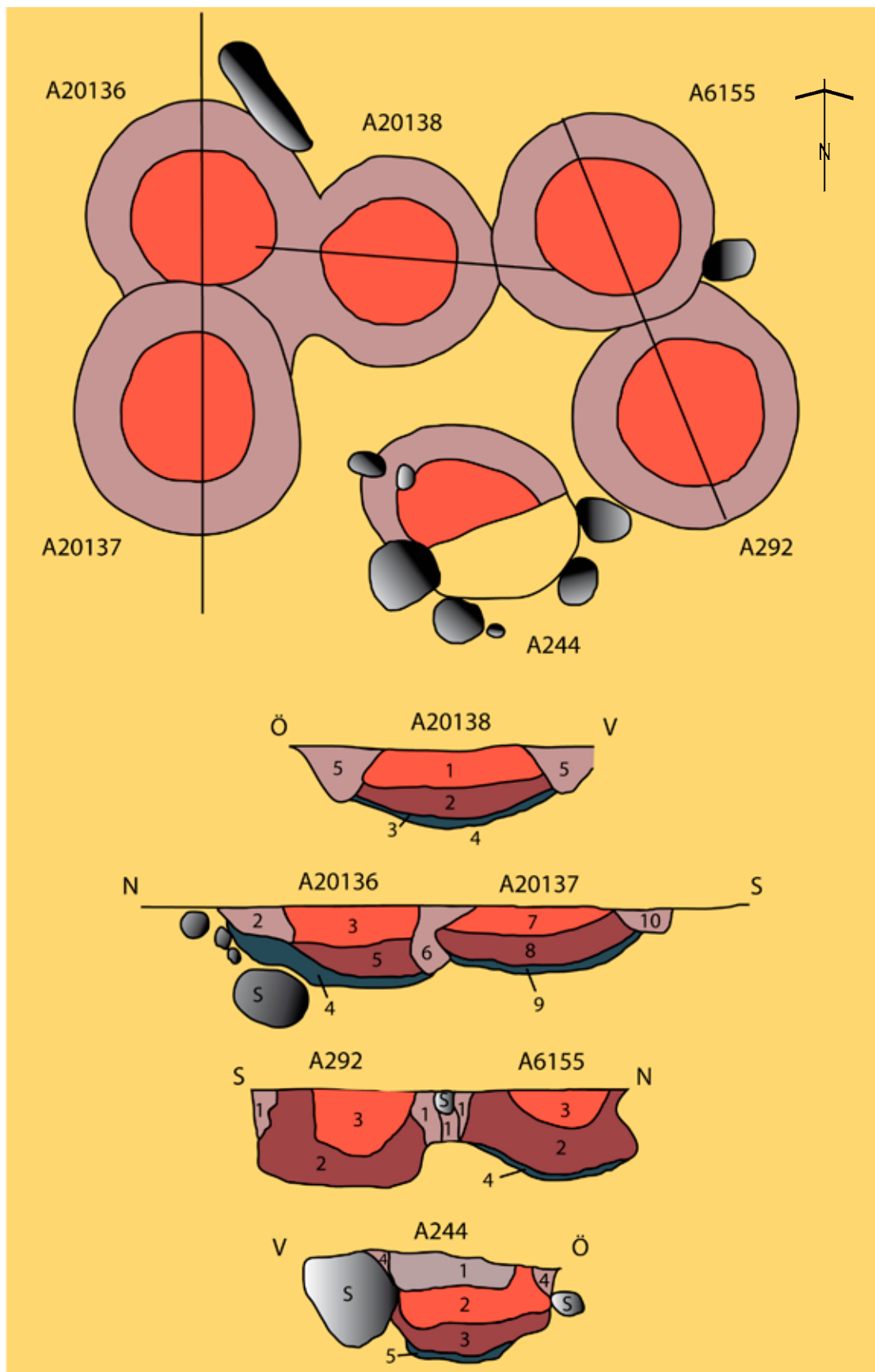
1. Ljusgrå siltig lera.
2. Ljusgrå siltig, melerad lera med slagg och kol.
3. Ljusgrå siltig lera varvad med bränd lera och slagg.
4. Mörkgrå siltig lera.

*A6155*

1. Mörkgrå siltig lera.
2. Smulig slagg med enstaka kol.
3. Bränd lera, varvad hårt bränd/nästan obränd.
4. Kollins.

*A244*

1. Grå lera med skör, bränd lera och slagg.
2. Slagg, enstaka kol, bränd lera.
3. Gråbrun lera med kol, enstaka slagg.
4. Gråbrun lera.
5. Kollins.



## Tolkning och diskussion

### Ugnarna i Ledsjö

Ugnarna i Ledsjö har varit av typen schaktugn med underliggande grop för slagguppsamling. Trots att endast delar av de slagggropar som låg under ugnsschakten var bevarade kan vi utifrån dessa gropar och tillvaratagen bränd lera från ugnsväggar samt slagg säga en del om ugnarnas utseende och funktion.

#### Den tekniska keramiken

Den registrerade och analyserade delen av Ledsjöfynden kan uppdelas efter såväl konstruktions- som godskriterier (tabell 4).

Karakteristiskt för den dominerande gruppen av schaktvägsrester är att den konkava sidan på de upp till 34 mm tjocka fragmenten antingen är förglasad eller bär spår av en flätverkskonstruktion som kan vara mer eller mindre sintrad. Under registreringen påträffades inga fragment i denna grupp där en förglasad konkav schaktinsida var kombinerat med flätverksavtryck på den andra, lägre brända sidan av flätverket. Detta ger en klar indikation att ugnsschaktet av lera har byggts upp på utsidan av en flätverkskonstruktion som har varit kvar på insidan av ugnen tills den brann upp antingen vid en bränning som gjordes innan ugnen togs i bruk eller under själva reduktionsprocessen. I de områden av schaktet där temperaturen har varit som högst har spåren av denna konstruktion försvunnit när leran förglasats medan de finns kvar – mer eller mindre sintrade – något högre upp på schaktet.

Tabell 4. Översikt över konstruktions- och godskriterier för analyserad teknisk keramik påträffad i ugnarna på RAÄ 150.

| Anläggning | Datering | Vägg tjocklek<br>mm | Glaslager<br>mm | Flätverk på<br>insidan | Gods-<br>grupp | Oflussad<br>smälttemp |
|------------|----------|---------------------|-----------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| A397       |          | 10–26               | 3–10            | X                      | B              | 1250°                 |
| A20137     | 70 e.Kr. | 12–23               | 4–12            | X                      | A              | 1250°                 |
| A20138     | 70 e.Kr. | 11–23               | 3–10            | X                      | A              |                       |
| A1093      |          | >32                 | 6               | X                      | C              | 1250°                 |
| A9404      |          | >32                 | 5–22            |                        | A              |                       |
| A6155      |          | 13–16               | 5–8             | X                      | B,D            |                       |
| A619       | 55 e.Kr. | 13–20               |                 | X                      | D              | 1250°                 |
| A4702      |          | 32                  | 10              |                        | D              | 1250°                 |
| A707       |          | 19–34               | 5–15            | X                      | C              |                       |
| A379       |          | >42                 | 14–20           |                        | D              |                       |

Legend: Godsgrupp A = rik växtmagring; B = växtmagring, mindre tillsats av krossad bergart; C = blandmagring av växtmaterial och krossad bergart; D = ingen eller liten tillsats av växtmaterial.

Som framgår av tabell 4 har de flesta av schaktfragmenten som har bevarat vad som framstår som en ursprunglig slät/avstruken utsida tjocklek på bara 12–26 mm (A707 avviker något). Även om det sannolikt inte skulle vara något problem att bygga dessa troligen små ugnar så förefaller schaktväggen alldeles för tunn för en säker process. Trots detta finns det inga tydliga tecken på att schaktväggar har kollapsat. Det finns tre möjliga förklaringar som kan diskuteras.

- Det vi ser skulle kunna vara resultaten av en andra blåsning i en ugn, där den ursprungliga insidan in till ett mera traditionellt centralt placerat vidjeskelett var bortrensats efter den första blåsningen. I så fall borde det bland fynden finnas fragment med förglasning på ena sidan och lägre bränt flätverksavtryck på andra sidan från den ursprungliga schaktkonstruktionen. Problemen med en för tunn schaktvägg skulle i övrigt vara kvar för den andra blåsningen.
- Väggen har varit dubbelt så tjock men de yttre lagren har fallit av. Detta har skett som en följd av en tvålageruppbyggnad av schaktväggen vilket har gjort att den lätt har spjälkats där dessa två lager har förenats. De yttre lagren har därefter helt förstörts av frostpåverkan eftersom de bränts till lägre temperaturer. Det faktum att mindre total tjocklek på fragmenten med förglasad insida motsvaras av mindre tjocklek på den förglasade zonen tyder på att det är just värmepåverkan som bestämmer hur mycket av fragmentet som har bevarats och att det kan ha funnits ytterligare lager på utsidan. Fynden av lägre brända (500–600°C) fragment i A619 skulle kunna tas som intäkt för denna tolkning. Flera av dessa fragment är emellertid helt eller delvis reducerat brända vilket inte är fallet med de fragmenten som bär den förglasade insidan och därför snarare borde vara reducerade. Godsvariationen i A619 tyder dessutom på att materialet är blandat avfall från olika konstruktioner.
- Väggen har varit betydligt tjockare men de yttre delarna har gjorts av ett annat eller annorlunda material. Man skulle kunna tänka sig ett yttre hölje av grästorv, men det förslaget faller på att schaktväggsfragmenten i långt högre grad borde vara reducerat brända. Däremot finns det den möjlighet att schaktets yttre lager kan ha gjorts av undergrundsmaterialet som representeras av provet från A20137 och som bevisligen har en mycket dålig hållbarhet när det är bränt till låga temperaturer. Det skulle med största sannolikhet försvinna snabbt under väderpåverkan. Frågan är dock om det överhuvudtaget skulle vara möjligt att konstruera ett sådant yttre lager med ett material med så pass låg lerhalt som detta.

Resultatet av denna diskussion blir tyvärr oklart. Det är mycket förvånande men än så länge mest sannolikt att schaktväggarna har varit så tunna som de framstår utifrån det bevarade. En teori om ett yttre lager kan skapas men kräver att flera faktorer är uppfyllda. Enbart konkreta experiment kan lösa dessa problem på ett tillfredsställande sätt.

Från denna konstruktionsgrupp avviker först och främst den tekniska keramiken från A379 (registrerad som hårdgrop). Fragmenten är upp till mer än 40 mm tjocka med förglasning på ena sidan och i ett fall med ett tydligt pinnavtryck från ett flätverk på den andra, lägre brända sida. Det mesta av tjockleken är reducerat bränd. Dessa fragment uppfyller därmed de basala kraven på rester från en ugnsschaktvägg av mera vanligt förekommande konstruktion.

Att schaktväggsfragmenten från A9404 är något tjockare (upp till >32 mm) än huvudgruppen av ugnar och saknar spår efter flätverkskonstruktion skulle kunna betyda att konstruktionen är annorlunda och kanske mera lik den standard som beskrevs i inledningen. Reduktionen av ickesmälta delar

av schaktväggen, som observerats på fragmenten från A379, saknas dock. Även den tekniska keramiken från A4702 avviker. Här kan det dock röra sig om rester efter en ässjefodring eftersom spår av flätverk saknas och fragmenten är oxiderade.

Förekomsten av minst två olika typer av ugnskonstruktion kan antingen förklaras som uttryck för experiment med teknologin antingen som samtida variationer eller som olika faser i en utveckling över tid. Oavsett om den dominerande ugnstypen har haft tjockare väggar än vad de bevarade resterna antyder, så visar de termiska analyserna i samband med registrering av den förglasade zonens tjocklek att processen i ugnen har varit kortvarig. Den smala reducerade zonen i ugnsschaktväggarna skulle vidare kunna tyda på att ugnsrummets atmosfär har varit reducerande i ganska kort tid. De reducerande förhållandena verkar ha varit betydligt bättre/varit längre i ugnen A379.

Registreringen och de närmare studierna av ugnsschaktväggarnas gods resulterar i en annan uppdelning av materialet. En mycket karakteristisk godstyp som påträffas i i stort sett alla fragment från A20137, A20138 och A9404 är en fin till mellangrov lera magrat med en stor andel växtmaterial (A). Såväl strå- som kornavtryck förekommer vilket betyder att det sannolikt är tröskavfall som har använts. Detta är en välkänd godstyp i schaktväggar som bland annat har påträffats i ett järnåldersdaterat schaktväggsfragment från Segerstorp i Västergötland (Stilborg 2006a,16). Godset som har fått beteckningen B (A397 och ett prov från A6155) består av en mellangrov lera med en del växtmagring men sannolikt också med en mindre andel krossad bergart. I den tredje godsgruppen (C), som förekommer i A707 och A1093, är den mellangrova lera magrad med en blandning av uppskattad upp emot 20 % grovt krossad granit och en hel del växtmaterial. Tunnslipsanalysen av F61 från A707 visar på en 1:1 blandning av granitkross och växtdelar som tillsammans utgör ca 15 % av godset. Godsgrupperna B och C har inga mig bekanta paralleller bland undersökta schaktväggar i Sverige. Som ovan antyder blandningen en sammansmältning av krukmakar- och teknisk keramiska traditioner. Slutligen finns godsen (D) av fin till mellangrov lera med ingen magringstillsatts (A379, A4702) eller med en liten mängd finfördelad växtmaterial som magring (A619 och ett prov från A6155). Denna typ av gods finns bland annat i schaktväggarna från Insjön i denna rapport, men är inte så vanlig som grova, osorterade leror i analyserade svenska ugnsschaktväggar.

Godsvariationen är markant men förenas av förekomsten av växtmagring i de flesta av proven. Detta tyder på att det är en pågående experimentering med godset till schaktväggarna inom samma verksamhet som ligger till grund för variationen. Som de termiska analysernas resultat visar tycks utgångspunkten också vara samma lera med någon variation i finheten. Lerans termiska egenskaper är inte så goda och det kan vara orsaken till att det har experimenterats med godset utan att detta har haft någon tydlig effekt på refraktiviteten.

Det finns således tydliga tecken på teknologiska experiment såväl i gods-sammansättning som i konstruktion. Den närmaste studerade parallellen till detta scenario är ugnarna från Fyllinge (Stilborg & Lindahl 2005, 56f ) där såväl en mellangrov lera med lite växttillsatts som en finare växtmagrad lera och en sand- och växtmagrad fin lera har använts till schaktväggarna i tre olika ugnar intill en förromersk gård. Alla ugnarna i Fyllinge har dock

konstruerats på traditionellt vis med tjocka schaktväggar uppbyggda kring ett vidjeflätverk.

Bedömt utifrån den tekniska keramiken kan järnframställningen i Ledsjö tyckas vara amatöraktigt utfört. Dock måste man ta med i betraktelse att det inte finns några omedelbara tecken på att ugnar har kollapsat som följd av den klena konstruktionen. Ugnarna har rensats ur efter en blåsning, men det är tveksamt om någon av dem har återanvänts eller om det någonsin har varit avsikten. Därför måste frågan ställas om teknologin har anpassats till en produkt eller ett råmaterial som ställde låga krav på ugnarna med hänsyn till kapacitet, temperatur, reduktionsförhållandena och processens varaktighet.

### **Storlek och form**

Något exakt svar på frågan hur stora ugnarna var går inte att ge. De delar av ugnarna som stått ovan marknivå har av naturliga skäl inte i något fall bevarats. Med hjälp av bland annat fragment av ugnsväggar kan vi ändå få fram en hel del uppgifter som ger oss en rimlig uppfattning om ugnsstorleken.

Det enda som bevarats *in situ* av ugnarna var den grop för uppsamling av slagg som låg under ugnsschaktet. Dessa gropar hade en speciell form som gör att storleken i plan inte kan tas för given. Gropväggarna i Ledsjö buktade ofta utåt i den nedre delen. Groparna var dock inte lika tydligt kolvformade som t.ex. ugn A10632 i Järnstad, Stora Åby socken, Östergötland (Englund & Larsson 1998, s.15). De lutande gropväggarna innebar att gropens diameter i plan var större en bit ned i gropan än vid dess övre kant. Det är därför, när man diskuterar storleken, av avgörande betydelse hur mycket av gropens övre del som hade plöjts bort eller raserats på annat sätt. Diametern i slagggropens översta del, som också utgjorde övergången till ugnsschaktets nedersta del ger åtminstone en fingervisning om ugnsschaktets storlek. För att en blästugn ska fungera tillfredsställande krävs att ugnsschaktet har vissa givna proportioner. Höjden på schaktet bör, över blästerintagets nivå, vara minst dubbelt så stor som schaktets diameter i blästerhöjd.

Ugnarna i Ledsjö har, av bevarade lämningar att döma, i plan varit i stort sett runda. I profil kan formen på ugnsschakt variera, både koniska och cylindriska schakt har förekommit. Några säkra bevis för hur Ledsjöugnarnas schakt sett ut har vi inte. Det finns en hel del speciella bitar bland det insamlade materialet av bränd lera från ugnskonstruktionerna. Många bitar är små och vi måste också komma ihåg att en del ugnsväggar kan ha deformerats då de utsatts för allt för hög värme. Trots det finns det en hel del fragment som bär på mycket värdefull information. Vi kan till exempel få en uppfattning om schaktväggens tjocklek. Tolkningen av de undersökta fragmenten från ugnarna i Ledsjö är beträffande vägg tjockleken en utmaning. Flera förslag kan diskuteras.

De tunna, ibland uppenbarligen extremt tunna schaktväggsbitarna har dock vissa motsvarigheter i tidigare undersökta ugnar. UV Syd undersökte 1996 en järnframställningsplats i Bromölla (Englund & Larsson 1997) som i flera avseenden påminner om Ledsjö. Där anges att schaktväggen har varit ca 100 mm tjock i den nedre delen medan den övre delen uppskattas till ”knappast mer än 50 mm” (Englund & Larsson 1997, s.29).

Ännu tunnare schaktväggar, fullt jämförbara med Ledsjöugnarna, tycks ha förekommit hos en schaktugn, med underliggande slagggrop, i Scharmbeck i nordvästra Tyskland. Ugnen kunde rekonstrueras i sin helhet och befanns ha

väggar som var endast 40 mm vid basen för att minska till 20 mm vid mynningen. Den invändiga diametern på det koniska schaktet ska ha varit 0,35 m vid basen och 0,23 m i toppen (Pleiner 2000, s.159). Scharmbecksugnen, som bör ha varit drygt 1,5 m hög över öppningarna för lufttillförsel, visar att det varit fullt möjligt att ha extremt tunna schaktväggar. I det förhållandevis höga och smala ugnsschaktet har man fått en skorstenseffekt så att ugnen fungerade med självdrag, möjligen understött av intermitterant inblåsning av luft.

Troligen har även ugnsschakten i Ledsjö varit koniska. Schaktens diameter i blästernivå är okänd. Diametern i den översta delen av de undersökta slagguppsamlingsgroparna ger ändå en fingervisning om vilka mått det kan ha rört sig om. Åtminstone en del av slaggroparna hade en kolvliknande form och groparnas övre delar var i olika grad bortplöjda eller skadade på annat sätt. Vi kan därför utgå från den uppmätta diametern anger ett maxvärde och att ugnsschakten längst ned mot övergången till slaggropen i realiteten bör ha varit något smalare. Slaggroparnas mynning i de bevarade delarna varierade från ca 0,45 m upp till 0,60 m.

Utifrån ett lite större och välbränt väggfragment från A707 har schaktets yttre diameter på en högre höjd i ugnen grovt kunnat beräknas till ca 0,25 m. Den inre diametern bör då ha varit omkring 0,20 m. Biten bör ha suttit en bit upp i schaktväggen, men vi vet inte från vilken nivå den härrör. En viss reservation är på sin plats då ugnsväggar kan deformeras vid öppnande, rivning eller när en ugnskonstruktion helt enkelt kollapsar.

Med en diameter på 0,50 m eller något mindre i blästernivå bör ugnsschakten ha varit åtminstone 1 m höga ovan blästernivån. I vilken utsträckning man utöver att blåsa in luft kan ha använt självdrag i Ledsjöugnarna har inte kunnat klarläggas.

### **Flätverkskonstruktion**

Ugnarnas schaktväggar har varit uppbyggda kring en flätverkskonstruktion. Lergodset som ingått i väggarna har till stora delar varit växtmagrat (se *Keramiska analyser*). På åtskilliga av de tillvaratagna schaktväggsbitarna fanns tydliga avtryck av pinnar/vidjor, ris, halm, gräs och ibland även andra växtdelar såsom fröer. Trots att de flesta väggfragmenten är små kan man på en del bitar se att leran lagts på mot en flätad konstruktion med i regel något grövre käppar/vidjor i en riktning och, vinkelrätt mot dessa, tunnare vidjor eller ris. De grövre käpparna/vidjorna har sannolikt stått lodrätt i konstruktionen och varit förankrade i ugnens nedre del medan tunnare och därmed böjligare vidjor/ris flätats in och följt ugnsväggens runda form i plan.

I en av de undersökta ugnarna fanns en indikation på hur de stående käpparna/vidjorna varit placerade (fig. 20–21). Inne i den nedersta, obrända delen av den lerbyggda ugnsväggen i ugn A619 syntes några lodräta färgningar tolkade som spår efter lodräta käppar/vidjor med ett inbördes avstånd om ca 40 mm. Denna ugn var den enda där det fanns en antydning till hur det flätverk som stabiliserat schaktväggarna var placerat i plan. Färgningarna iaktogs endast i anläggningens nordvästra del och vi kan därför inte säga huruvida det funnits flätverk runt hela schaktet, vilket dock är troligt.

På flera av de tillvaratagna brända schaktväggsbitarna fanns, som antytts, tydliga avtryck av käppar och vidjor (se *Keramiska analyser*). Avtrycken hade lite olika placeringar i eller på fragmenten. Anmärkningsvärt är att avtryck av flätverk förekom på flera bitar på den sida där leran in mot ugn-

schaktet blivit förglasad av värme. Detta tyder på att leran i schaktväggarna endast lagts på utsidan av en flätad korgliknande konstruktion. Ett rimligt antagande hade annars varit att ett flätverk byggts in som en armering inne i en schaktvägg. Uppenbarligen har flätverket brunnit upp under processens gång och endast lämnat avtryck i de förglasade lerbitarna. En förklaring är att flätverkets främsta uppgift i dessa fall var att tjäna som stöd då schaktet runt om byggdes upp av lera. Troligen har flätverket stått emot så länge att lerväggarna hunnit brännas i sådan utsträckning att de blev tillräckligt stabila i sig själva.

Om tanken var att ugnarna skulle rivas för att man skulle komma åt den tillverkade produkten – oavsett om det rörde sig om en smälta eller någon annan form av halvfabrikat från en mindre fullgången reduktionsprocess – bör rivningen ha underlättats av att det inte fanns ett armerande flätverk bevarat inne i schaktväggen. Med andra ord kan det ha varit fullt medvetet som man valt att bygga ett tunnväggigt ugnsschakt runt ett flätverk som sedan fick brinna upp.

I den nedersta delen har man dock förmodligen haft lera även på insidan för att flätverket skulle få en stadig förankring inför uppbyggnaden av schaktet över ugnens slagguppsamlingsgrop. Det finns bitar där avtrycken är omgivna av brottytor som visar att flätverket i dessa fall legat inne i godset.

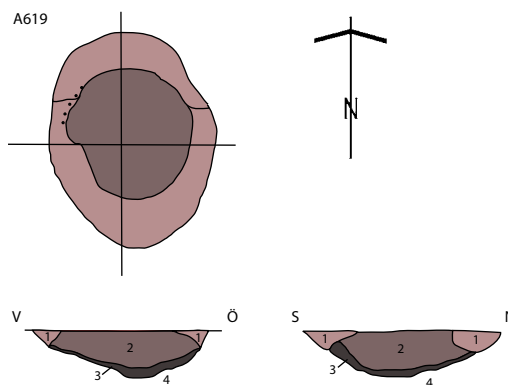


Fig. 20. A619, från sydöst. I det vertikala partiet under tumstocken fanns färgningar som sannolikt visade var det lodräta vidjorna i en flätverkskonstruktion stått. Till vänster i anläggningen syns hur den kvarlämnade schaktväggens nedersta del hänger ut över slagguppsamlingsgropen. Foto: Svante Forenius.

Fig. 21. A619. Plan och profil. I västra kanten syns de lodräta färgningarnas placering. Skala 1:40.

Lagerbeskrivning:

1. Siltig lera, värmepåverkad men ej bränd.
2. Slagg, bränd lera, sot/kol.
3. Träkol (förkolnad ved?).
4. Siltig sand.



### Lufttillförseln

Bland den tillvaratagna slaggen och brända lera från Ledsjö påträffades några bitar som hade avtryck av blästerrör eller formor. Därigenom vet vi att blästugnarna i Ledsjö har försetts med luft via ett rör som anslutits till ugnsschaktet genom en öppning i schaktväggen.

Likartade bitar med avtryck av blästerrör har tidigare påträffats på flera platser, bland annat RAÄ 75 i Markaryds socken och RAÄ 125 i Skånes Fagerhults socken (Forenius & Grandin 2005; Forenius et al 2005). Avtrycken visar att blästerluften letts in i ugnarna via någon typ av rör och att bälgar sannolikt har använts. Materialet i sådana bitar kan variera men avtrycken har huvudsakligen formats av bränd lera/bränd lera + järnrik slagg/slaggrikt järn/järn (Forenius & Grandin 2005, s.11). Med tanke på Ledsjöugnarnas troligen relativt små dimensioner har det förmodligen endast funnits en blästeringång per ugn.

Ett avtrycks diameter ger oss en uppfattning om blästerrörets diameter. Måtten på de undersökta bitarna från Markaryd varierade mellan ca 30 och 55 mm i ytterdiameter (Forenius & Grandin 2005, s. 11). Den ursprungliga ytterdiametern var där osäker då avtrycken i flera fall hade deformerats, ibland kraftigt, innan de slutligen stelnat i sin nuvarande form, men omkring 40 till 50 mm verkar vara rimligt. I Markaryd fanns inte några bitar med vertikala avtryck av rörets ände där det varit möjligt att fastställa rörets innerdiameter. De befintliga avtrycken visade dock att rören kan ha haft en godstjocklek upp mot 10 mm, vilket medför att rörets innerdiameter varit betydligt mindre än dess ytterdiameter (Forenius & Grandin 2005, s. 11). Beträffande en formas inre diameter har Pettersson samlat en del äldre uppgifter, från vitt skilda platser, där måtten varierade mellan "ett pekfingers tjocklek" och ca 3 cm (1982:82). De beskrivningarna rör uppenbarligen ugnar av olika ålder.

Det tydligaste avtrycket från Ledsjö finns på en bit bränd lera som ingår i F127 (fig. 22). Trots eller snarare på grund av att biten är kraftigt förglasad/smält framträder avtrycket med en falsartad form som en avgjutning av änden på ett rör. Med reservation för att avtrycket kan vara något deforme-



*Fig. 22. Bränd/smält lera med avtryck av blästerrör. Foto: Svante Forenius.*

rat och endast motsvarar ca en fjärdedel av rörets omkrets beräknas rörets innerdiameter till 35–40 mm. Biten påträffades i A871, en anläggning som registrerades som grop och låg inom begränsningarna för hus 1. Från ugn A9404 finns en bit, F24, med ett möjligt avtryck av sidan på ett blästerrör. Det cylinderformade avtrycket kan även ha formats av en grövre pinne eller dylikt.

Bland de tillvaratagna schaktväggsfragmenten från Ledsjö finns några som till form och bränning delvis påminner om några speciella schaktväggsbitar som påträffades vid RAÄ 75 i Markaryds socken år 2002 (Forenius & Grandin 2005). Ugnarna i Markaryd var visserligen av betydligt senare datum, medeltid, och kraftigare byggda även om de troligen inte var anmärkningsvärt mycket större än Ledsjöugnarna. De aktuella väggbitar från Markaryd hade suttit i anslutning till den öppning i schaktväggen där blästerluften leddes in.

De kännetecknades av att lergodset var tunnast närmast runt den förmodade blästeröppningen. Därefter tilltog tjockleken på så sätt att det runt blästeröppningen i denna del av schaktväggen bildades ett trattformat parti med den vidaste delen ut mot ugnsväggens utsida (fig. 23).

Framför allt ett bevarat schaktväggsfragment från ugnen A1093 (F36) i Ledsjö härrör sannolikt från just den del av väggen där öppningen för blästerörret fanns. På insidan är området runt det förmodade hålet mycket kraftigt bränt och leran är förglasad. På biten från A1093 kan man, om än inte lika tydligt som i Markaryd, ana att väggen från utsidan haft ett koniskt eller trattformat parti som lett in mot ett hål i schaktväggen. Även från ugnen A397 finns en väggbiter i F106 som kan ha suttit runt blästerhålet. Den ena kanten på denna bit kan ha formats mot utsidan på ett blästerör med ungefär 65 mm ytterdiameter. Under samma fyndnummer finns en bit delvis förglasad lera som möjligen formats av den delvis proppat igen änden på ett blästerör med, ca 40 mm i innerdiameter.

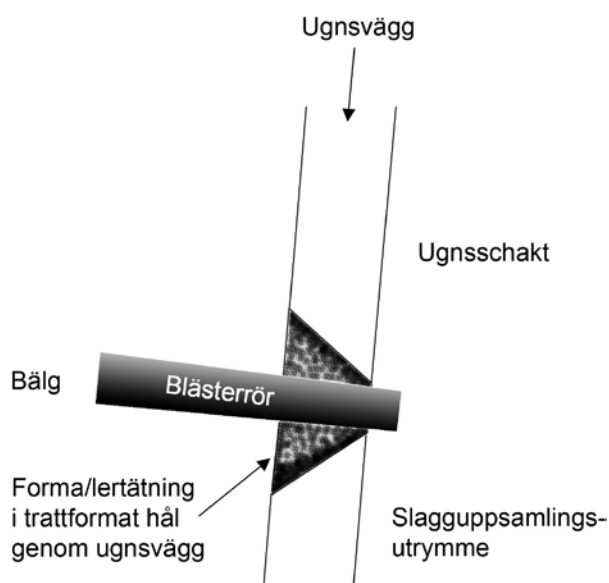


Fig. 23. Schematisk bild över ett blästerörrets anslutning till ugnsschaktet genom en schaktvägg.

### Stenar vid ugnar

Det finns inga tecken på att sten i någon större utsträckning skulle ha ingått som byggnadsmaterial i ugnskonstruktionerna. Stenar av skiftande storlek fanns dock intill flera av ugnarna. Form, storlek och placering antydde att det inte rörde sig om fällstenar, dvs. stenar där den första mekaniska bearbetningen av det producerade järnet skett.

Större stenar förekom bland annat vid eller i A4610 och 4624. Vid ugnsuresten A397 och A379, registrerad som härdgrop, fanns större liggande stenblock, drygt 0,25 m tjocka och 0,5 m långa. När det gäller A397 kan blocket ha varit "inmurat" i ugnsväggen. Enligt anläggningsbeskrivningen till A379, som möjligen också kan ha varit rester av en ugn, fanns i anläggningens västra del ett stenblock med flat ovansida, vilket uppenbarligen hade haft en funktion i anläggningen. Där anges vidare att det fanns flera liknande anläggningar i området, med ett större block i kanten av anläggningen och det eventuellt skulle kunna röra sig om fällstenar. Det framgår dock inte vilka anläggningar det rörde sig om och av vilken typ dessa var. Beträffande A379 kan en reservation göras för att det i denna anläggning påträffades ett par kulslagger, som kan förknippas med primärsmide. Däremot verkar inte en tolkning som fällsten rimlig när det gäller A397, med tanke på stenblockets placering delvis i ugnsväggen.

Vilka andra funktioner skulle stenarna ha haft? Det fanns inte några tydliga tecken på att ugnarna skulle ha haft en så kallad utraknings-/arbetsgrop. Om det hade varit så hade åtminstone vissa av stenarna kunnat tjänstgöra som så kallade portalstenar. Funktionen hos portalstenar är att förstärka ugnsväggen på den sida som vetter mot utraknings-/arbetsgropen. Mellan de oftast upprätt stående portalstenarna tar man, vid behov och tillfälligt, upp en öppning för att raka ut slag eller ta ut luppen/smältan från ugnen. De ovan nämnda stenblocken som förekom i anslutning till de undersökta ugnarna var inte ställda på högkant utan låg ned. Det förekom också mer rundade stenar, t.ex. vid anläggningarna A292 och A6155. Runt slaggruppen till A244 fanns flera stenar. Dessa stenar varierade i storlek mellan ca 0,15–0,20 m och deras eventuella funktion i ugnen är oklar. Det kan inte uteslutas att sten åtminstone delvis utnyttjats i kanten av en del slaggruppsamlingsgropar i Ledsjö. Stenklädda, omsorgsfullt kallmurade slaggruppsamlingsgropar har påträffats på andra järnframställningsplatser av ungefär samma ålder, bland annat i Valbo socken, Gästrikland, även om det då rörde sig om betydligt större ugnar som dessutom brukats flera gånger (Forenius et al 2007, s. 77).

Ytterligare ett tolkningsförslag för stenarna i anslutning till ugnarna är att de kan ha stöttat bälgarna eller andra delar av de anordningar som funnits för ugnens lufttillförsel. Eftersom bälgen/bälgarna rör sig när de är i drift kan vibrationer från dessa via blästerrör föras över till ugnskonstruktionen. Radomir Pleiner har noterat detta och anser att forman eller munstycket (tuyère) som fanns i ugnens blästeröppning hade en roll i detta sammanhang, dels skulle det skydda blästerröret från hettan från ugnsschaktet dels hjälpa till att eliminera eller åtminstone dämpa vibrationer från bälgarna och förhindra att de fördes vidare till ugnsväggen (Pleiner 2000, s.196). Det mesta tyder på att ugnsväggarna i Ledsjö kan ha varit av ovanligt kläna dimensioner. Det kan i så fall ha inneburit att behovet var extra stort med en säker, vibrationsupptagande anslutning mellan bälg och ugn. Det är möjligt att anordningen för

lufttillförsel krävde en speciell anslutning och en stadig förankring, kanske med hjälp av stenar, för att man skulle undvika skador på ugnarna.

### **Ris- eller halmfyllda gropar**

På tillvaratagen bränd lera och slagg från de undersökta ugnarna förekom, som tidigare framgått, en hel del avtryck. Det rörde sig främst om avtryck av olika delar av växter. Förutom de avtryck som antyder att ugnarna byggts upp kring en flätverkskonstruktion fanns även avtryck som bör ha uppkommit av andra anledningar. Vi har flera tydliga exempel på avtryck av det tröskavfall som tycks ha kommit till flitig användning som magring i leran i ugnsväggarna.

Utöver avtryck från flätverk och magring förekommer också avtryck av gräs, halm eller ris. På vissa schaktväggsbitar ligger avtrycken tätt, ofta parallellt, och ser välordnade ut medan de i andra fall är glesare och ligger kors och tvärs. Det är tveksamt om dessa typer av växtavtryck representerar delar som haft en funktion i schaktväggs konstruktion. Även en del slaggar har avtryck av halm, kvistar eller ris.

På andra platser, t.ex. i Jylland, har man ofta i ugnar med underliggande slaggrop funnit spår efter ris- eller halmfyllning, som en enligt Voss hade två huvuduppgifter. Den skulle dels hindra malm och träkol från att rasa ned i slagguppsamlingsgropen, dels hindra att den första slagg som bildades rann ned och stelnade och därmed täppte till övergången mellan schaktets nedre del och gropens mynning (Voss 1995, s. 133f). Genom att stoppa den första slaggen på en nivå strax under blästerhålet kunde slaggen hållas flytande. När sedan trycket från den ackumulerade slaggen ökade gav risfyllningen efter så att slaggen kunde rinna ned och fylla ut gropen (Voss 1995, s. 134). Merparten av risfyllningen brann upp under processens gång och efterlämnade ibland hålrum i slaggen.

Det förekommer ibland även hålrum som visar att man i slagguppsamlingsgropen haft ved istället för ris eller halm (Pleiner 2000, s. 149; Forenius et al 2007, s. 75ff). Det kan ha funnits en avsikt med att skapa hålrum i slaggen. På så sätt blev det lättare att bryta upp slaggen i mindre bitar. Ett sådant förfaringssätt borde främst ha gällt ugnar som var avsedda att användas flera gånger.

Det finns inga tydliga tecken på att ugnarna i Ledsjö skulle ha använts till mer än en blåsning vardera. Trots det verkar slagguppsamlingsgroparna ha tömts på merparten av den slagg som borde ha samlats under en blåsning. Den närmast totala avsaknaden av större slagglumpar tyder på att man medvetet, troligen av processtekniska skäl, har försökt åstadkomma en slagg som gick att få ut ur ugnen i mindre, hanterliga stycken. Ris- eller halmknippen och även ved kan då ha kommit till användning för att få en lätt uppbrytbar slagg.

### **Små, klena ugnar ...**

De sjuttiofem ugnar som registrerades på undersökningsytan vittnar om en omfattande, huvudsakligen romartida, järnframställningsplats. Hur stor produktionen var går inte att uppskatta och vi vet heller inte hur många ytterligare ugnar som funnits i angränsande områden utanför undersökningsytan.

Det finns fler inslag som vid en första anblick kan verka förbryllande. Mängden slagg som påträffades på platsen var förvånansvärt liten. Det sto-

ra antalet ugnslämningar inom en relativt begränsad yta borde ha genererat ansevärliga mängder slagg, även om varje ugn endast använts en gång. Hur mycket slagg som producerats och vart den tagit vägen går inte att besvara. Vi kan dock utgå från att järnproduktionen utfallit så som blästsmederna i Ledsjö tänkt sig. Det finns ingen anledning att bygga minst sjuttiofem ugnar om de inte fungerar.

På kontinenten har tätt liggande ugnar i så stora mängder ofta betraktats som engångsugnar. I botten av i stort sett varje slagguppsamlingsgrop finner man en stor kvarlämnad bottenlagg. Detta tolkas som att ugnarna endast har använts en gång sedan har man byggt en ny eller endast anlagt en ny slagguppsamlingsgrop över vilken man ställt ett flyttbart schakt som kunde återanvändas (t.ex. Pleiner 2000, s.159).

Ett sådant förfaringssätt har inte utnyttjats i Ledsjöugnarna. De undersökta ugnarnas slagguppsamlingsgropar har volymmässigt varit mindre än hos ugnarna på kontinenten och i Ledsjö saknades stora bottenlaggar. Överhuvudtaget fann vi ytterst få stora slagglumpar vid undersökningen. Slagguppsamlingsgroparna visade tydliga tecken på att ha rensats ur, vilket troligen skedde direkt i samband med blåsningen. Fyllningen som påträffades i ugnarna bestod dock till vissa delar av slagg. Den största mängden slagg, 10,8 kg, som låg kvar i en ugn påträffades i A1093. Slaggen i groparna var mestadels trögfluten (fig. 24), porös och fördelad på små bitar, ofta med tydliga brottytor. Det förekom även tätare, små flutna så kallade stearinslaggar (fig 25–26). Många av slaggerna innehåller också båda slaggtyperna där man tydligt kan se övergången från en porös, grovkornig och trögfluten bottenlagg till en tät, finkornig och mer lättfluten stearinslagg. Den största andelen slagg i fyllningen fanns i groparnas nedre delar, oftast strax över det starkt sot- och kolbemängda botten-skiktet i respektive grop. I den övre delen av fyllningen var an-

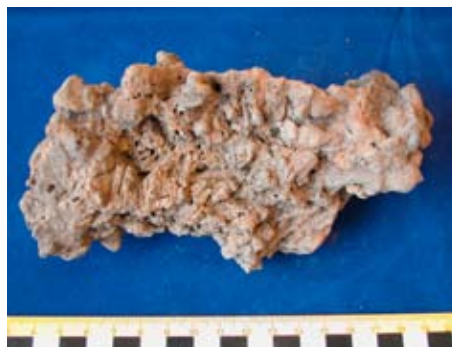


Fig. 24. Trögfluten slagg med växtavtryck.  
Foto: Lena Grandin.



Fig. 25. Små strängar av stearinslagg.  
Foto: Lena Grandin.



Fig. 26. Stearinslagg med träkolsbitar.  
Foto: Lena Grandin.

delen slagg i regel mindre. Ser vi till schaktväggsfragmenten var förhållandet ofta det motsatta – dvs. andelen var större på högre nivåer i gropen.

Orsaken torde vara att den slagg som påträffades i groparna hade blivit kvar efter en mer eller mindre noggrann utrensning. Schaktväggsfragmenten som låg koncentrerade i den övre delen av groparna har troligen rasat ned från det av allt att döma mycket tunnväggiga schakt som stått över gropen och fyllt gropen i samband med att ugnen revs eller av egen kraft rasade samman efter att den hade övergivits.

### **... endast använda en gång?**

Runt ugnslämningarna förekom ytterst sparsamt med slagg och bränd lera från ugnsväggar. Några slagglager eller -varp kunde inte iakttas. Det är rimligt att anta att hundratal år av jordbruk kan ha spritt och malt sönder slagg och bränd lera så att de mer eller mindre försvunnit i det plöjda matjordslagret. Med tanke på ugnarnas utseende och innehåll kan det vara värt att diskutera andra alternativ.

Mängden ugnar medför att det inte finns något tvivel om att ugnarna fungerat som tänkt. Annars bygger man inte ugn efter ugn. Det stora antalet ugnar skulle kunna tyda på att de endast användes en gång var. Ett argument för att det rör sig om engångsugnar i Ledsjö är att det bland de tillvaratagna ugnsväggfragmenten praktiskt taget inte finns något som skulle kunna tolkas som spår efter reparationer av ugnarna. Inte heller i de bevarade slaggroupsresterna kunde spår av lagningar eller mindre ombyggnader iakttas. Ugnar som använts flera gånger uppvisar i regel flera tydliga tecken på att mer eller mindre omfattande reparationer utförts.

Till varje ugn i Ledsjö tycks man ha använt relativt små mängder lera. Samtidigt har det med tanke på antalet ugnar totalt sett gått åt stora volymer. Huruvida de klenlygda ugnarna med sina tunna väggar ska ses som ett tecken på att det rått brist på lämplig lera och att man har varit tvingad att snåla på leran kan diskuteras. Flera av de tillvaratagna schaktväggsbitarna visade att man lagt ned mycket arbete på att magra leran. Det kan inte uteslutas att man av den anledningen, i arbetsbesparande syfte, valde att göra schaktväggarna så tunna som möjligt. Genom att minimera lervolymer i schaktväggarna sparade man på de insatser som behövdes för att samla in och inte minst preparera leran för att den skulle bli lämplig som byggnadsmaterial i schaktväggarna. Samtidigt bör de tunna väggarna ha varit till nackdel då den isolerande effekten bör ha varit låg. Det fanns inga spår som tydde på att ugnarna haft en extra, yttre isolering runt schakten. En förklaring till den ovanliga byggmetoden kan vara att ugnsbbyggarna tycks ha blandat kunskaper hämtade från såväl teknisk keramisk tradition som keramikkarls-tillverkning.

De tunna schaktväggarna kan också ha varit anpassade till en speciell produktionsmetod – där kanske både temperatur och gångtid innebar att väggarna, trots att de var mycket tunna, fyllde den avsedda funktionen.

### **Organisation och förmåga att utnyttja tillgängliga råvaror**

Den variation inom järnframställningen i Ledsjö som vi inledningsvis noterade med hjälp av de kemiska analyserna men anade kunde vara mer samlad i ett större perspektiv, visar sig trots allt motsvara en variation som finns i ett betydligt större slaggmateriel. Variationen i slagggernas sammansättning

uppträder på en mycket begränsad, väl sammanhållen yta med ugnar för järnframställning, som också är samlad i tid. Detta kan upplevas som ett splittrat, ej reproducerbart hantverk. Det skiljer sig också från en rad järnframställningsplatser där det finns en större enhetlighet inom respektive lokal. Vi kan dock återigen nämna den omfattande järnframställningen i Gråfjell, Norge, som exempel där goda tekniska kunskaper inom järnframställning har dokumenterats och ett välorganiserat system har rått i området (se referenser ovan). Drygt 100 platser med järnframställning påträffades i ett stort skogs- och myrlandskap. Drygt 30 av dessa undersöktes. På flera fanns mer än en ugn och där analyser gjordes kunde likheter i slaggsammansättning ses från en och samma ugn. I flera fall noterades det avvikelser i slaggens sammansättning från ugnarna på respektive plats, men samtidigt fanns det skillnader också mellan platserna. De samlade resultaten byggde dock upp en bild av en kontinuerlig skillnad för hela området, där det inte var entydigt var man skulle dra gränser mellan olika grupper av platser eller ugnar. Samtidigt fanns det ett stort antal malmförekomster att jämföra med och analysera och dessa visade också lokala skillnader. Dessutom kunde analyser av ugnsväggarna, på motsvarande sätt som de från Ledsjö, visa att olika material valts till väggarna, men de ugnstyper som kunde urskiljas konstruktionsmässigt återkom på plats efter plats.

Även om Gråfjellsundersökningen är stor både till ytan och till antalet analyser som gjorts, är bilden som resultaten ger delvis överförbar till Ledsjö, även om vi måste ändra skalan. I Ledsjö ser vi inte flera platser, men vi har flera ugnar med olika material i ugnsväggarna och en kontinuerlig förändring i slaggernas kemiska sammansättning. Ugnskonstruktionen förefaller mer enhetlig och slaggernas form talar för liknande process. Det är sannolikt bara en variation i råvarorna dvs. leran och malmen som använts, som påverkat ugnsväggarnas och slaggernas sammansättning. Denna variation har krävt att järnframställaren fått göra små justeringar i processen för att kunna tillverka sitt järn.

### **Bra eller dålig process**

Varför har man rensat ur ugnarna om de endast skulle användas för en blåsning? Eftersom vi i stort sett endast fann små slaggbitar kvarlämnade i gropparna och att mängden slaggtotalt sett var liten i området runt ugnarna får vi fundera över *hur* processen kan ha fungerat.

Bakom det vi idag vid en första anblick skulle kunna betrakta som en dåligt fungerande process kanske det i själva verket låg en för sin tid god produktionsstrategi. Järnålderns blästsmeder slösade helt säkert inte tid på att samla in och preparera malmråvara och bränsle samt att bygga ugnar till en ickefungerande process – åtminstone inte flera gånger. Ugnarnas konstruktion och processen kan ha anpassats för att fungera optimalt utifrån malmens och bränslets speciella egenskaper och blästsmedernas kunskaper. Även om teknologin inte tycks ha varit på högsta nivå bör produktionen ha fungerat tillfredställande. Det kan inte uteslutas att man medvetet drev ugnarna så att separationen av järn och slaggt inte blev fullständig. Kanske man valde att, i ugnarna, endast framställa ett slags halvfabrikat i form av slaggblandat, svampigt järn eller järnblandat slaggt.

En mer fullständig separation av järn och slaggt kan sedan ha skett i samband med primärsmide, utfört på en plats som inte fanns inom undersök-

ningsytan. Något bevis för detta har vi inte och vi vet heller inte om detta kan ha skett i närheten av ugnarna, men utanför undersökningsområdet, eller på en mera avlägsen plats. Situationen kan jämföras med järnhanteringen i Bromölla. Där diskuteras att huvuddelen av förädlingen till smidbart järn av det blästjärn som tillverkades i ugnarna ägde rum på annan plats, ”sannolikt i hemsmedjan” (Englund & Larsson 1997, s.29).

Ett betydligt yngre exempel på att primärsmide utförts hemma på gården har vi sannolikt i den medeltida smedjan i Salmered, Landvetter socken, som UV Väst tillsammans med UV GAL undersökte i maj 2006. Analyserade slagger från Salmered antydde att primärsmide kan ha varit den huvudsakliga sysslan i smedjan (Lindman et al 2007; Forenius, Andersson & Grandin 2007).

Vad som skulle kunna ligga bakom avsaknaden av spår av primärsmide i Ledsjö kan vi bara spekulera i. Den troligaste orsaken är undersökningsytans begränsning, dvs. primärsmidet kan ha skett i närområdet.

Det är välkänt att träkol är besvärligt att frakta längre sträckor eftersom det lätt skakar sönder till för små bitar och därmed blir obrukbart i järnhanteringen. Av den anledningen kan det ibland ha varit bättre att transportera t.ex. malmråvara eller ”halvfabrikat” till platser med god tillgång på kol. En sådan förklaring är dock inte trovärdig i detta fall. Med tanke på att det gick åt mest bränsle i den process som skedde i ugnarna, dvs. det produktionsled vi funnit spåren av, har det knappast rått bränslebrist i Ledsjö.

Vilka faktorer som styrt hur man överhuvudtaget valt plats för olika processled har skiftat. Råvarutillgång både vad gäller malm, bränsle och byggnadsmaterial kan ha spelat en viktig roll. På järnframställningsplatser där man haft stora, kraftigt byggda ugnar där det gick åt mycket lera är det fullt möjligt att tillgången på lämplig lera har varit en lokalisering faktor.

Ibland har man valt att förlägga verksamheten i anslutning till en boplats. Såvida inte en eller flera råvaror fanns vid boplatsen behöver råvarutillgången inte ha varit den viktigaste frågan för lokaliseringen av verksamheten.

Järnhanteringen kan, som Pleiner nämner (2000, s.72.), ha varit förknippad med socialt eller religiöst tvingande sedvanor. Därmed kan det inte uteslutas att arbetet var organiserat på ett sätt som innebar en mer eller mindre strikt uppdelning beträffande vem som utförde vissa processled och var detta utfördes.

## Referenser

- Andersson, D., Grandin, L., Stilborg, O. & Willim, A. 2006. Järnframställning i Gråfjellområdet. Arkeometallurgiska analyser av 2005 års undersökningar. Järnframställningsplatserna 23/J, 28/Tr, 29/S, 30/E, 31/M, 32/M, 33/M och 34/M. Rostningsplatserna 18/J, 20/J och 24/J. Gråfjellområdet, Åmot kommune, Hedmark Norge. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-2006*. Uppsala.
- Axelsson, T., 2003. Arkeologiska förundersökningar av fornlämningar som berörs av väg E20, delen Lundsbrunn – Holmestad, Götene kommun, Västergötland. Västergötlands museum. Rapport 2003:1.
- Berglund, A. Axelsson, C & Vretmark, M. 2005. Esketorp – samhällen från äldre järnålder och tidig medeltid i Skövdes utkant. Arkeologisk undersökning 2002 inför ny sträckning av väg 26 Trafikplats Segerstorp, Skövde Sn RAÄ 43 & 148. Rapport 2005:12. Västergötlands museum.
- Englund, L-E. & Larsson, L. 1997. Järnframställning i Bromölla. Skåne, Ivetofta, RAÄ nr:oregistrerad. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 20-1997*. 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.
- Forenius, S., Andersson, D. & Grandin, L. 2007. En medeltida smedja i Salmered. Arkeometallurgisk undersökning. RAÄ 87, Landvetters socken, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 3-2007*. Uppsala.
- Forenius, S. & Grandin, L. 2005. Medeltida järnframställning på en gård i skogen. RAÄ 75, Markaryds sn, Småland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 10-2005*. Uppsala.
- Forenius, S., Willim, A., Andersson, D. & Grandin, L. 2007. Romartida blästbruk och sentida bebyggelse i Valbo. RAÄ 412 och 413. Valbo sn. Gästrikland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 11-2007*. Uppsala.
- Forenius, S., Willim, A. & Grandin, L. 2005. Medeltida blästbruk vid Bredabäck. E4-projektet i Skåne, område E4:31. RAÄ 125, Värnsjö 3:10, Skånes Fagerhults sn, Skåne. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 12-2005*. Uppsala.
- Grandin, L., Willim, A. & Stilborg, O. 2005. Järnframställning i Segerstorp. Arkeometallurgisk analys av en holkysa och slagger. RAÄ 148, Skövde sn, Västergötland. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 7-2005*. Uppsala.
- Grandin, L., Willim, A., Forenius, S. & Stilborg, O. 2005. Järnframställning på Gråfjell. Arkeometallurgiska analyser av 2004 års undersökningar. Järnframställningsplats 8/T, Järnframställningsplats 13/J, Rostningsplatser. Gråfjellområdet, Åmot kommune, Hedmark, Norge. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 9-2005*. Uppsala.

- Hjärthner-Holdar, E. 1993. Järnets och järnmetallurgins introduktion i Sverige. Med bidrag av Peter Kresten och Anders Lindahl. *Aun* 16, Uppsala.
- Jonsson, K., Magnusson, G. & Millberg, P-O. 2001. Järnhantering i Norra Västergötland. Arkeologiska undersökningar i Essunga, Främmestad, Istrum, Ledsjö, Lerdala, Vättlösa och Älgårås socknar. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott* H71. Stockholm.
- Lindman, G., Forenius, S., Andersson, D. & Grandin, L. 2007. Smedjan i Salmered. En medeltida smedja i Landvetter, Västergötland, Landvetters socken, Salmered 1:3006, RAÄ 87. *UV Väst Rapport* 2007:6. Mölndal.
- Magnusson, G. & Millberg, P-O. 1981. "Lågteknisk järnframställning i Skaraborgs län". *Västergötlands fornminnesförenings tidskrift* 1981–1982. Skara.
- Nihlén, J. 1932. Studier rörande äldre svensk järntillverkning med särskild hänsyn till Småland. *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie* N:r 2. Stockholm.
- Pleiner, R. 2000. Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters. Archeologický Ústav AVČR. Praha.
- Rundberget, B. 2007. Jernvinna i Gråfjellområdet. Gråfjellprosjektet Bind I. Varia 63, Kulturhistorisk Museum Fornminneseksjonen. Oslo.
- Särlvik, I. 1975a. Arkeologisk undersökning av fornlämningarna 4 och 5 samt nyupptäckt järnframställningsplats i Ryd, Skövde kn, Västergötland. *RAÄ Rapport* 1975:B9. Stockholm.
- Särlvik, I. 1975b. Järnframställning i Ryd. *Västergötlands fornminnesförenings tidskrift* 1975–1976. Arkeologi i Västergötland, 105–115. Skara.
- Voss, O. 1991. Jernproduktionen i Danmark i perioden 0–500 e Kr. *Jysk Arkæologisk Selskabs Skrifter* XXVII. Aarhus.
- Voss, O. 1995. Snorup – an Iron Producing Settlement in West Jutland, 1<sup>st</sup> – 7<sup>th</sup> Century AD. I: The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change. Volume 1. Papers presented at the Norberg Conference on May 8 – 13, 1995. Stockholm. Ed. G. Magnusson. *Jernkontorets Bergshistoriska Utskott* H 58. Stockholm.

## **Administrativa uppgifter**

*Riksantikvarieämbetets dnr: 423-2430-2006*

*Riksantikvarieämbetets projektnummer:10933.*

*Länsstyrelsens dnr: 431-34954-06*

*Projektgrupp: Daniel Andersson, Svante Forenius och Lena Grandin.*

*Underkonsulter: Ole Stilborg, Keramiska Forskningslaboratoriet.*

## Figurförteckning

- Fig. 1. Undersökningsytan, från söder. Lämningarna efter järnframställning låg huvudsakligen i fältets västra del. Foto: Svante Forenius..... 12
- Fig. 2. Trögfluten slagg, F76, med rikligt med kolavtryck och hålrum. Foto: Lena Grandin. 20
- Fig. 3. I mikroskopet (genomfallande belysning) är den stora mängden hålrum påtalig (oregelbundna grå fläckar) liksom dominansen av wüstit (ljusaste fasen). 20
- Fig. 4. Stearinformat slagg, F88. Översidan respektive undersidan där de enskilda slaggsträngarna är tydligt urskiljbara. Foto: Lena Grandin. .... 21
- Fig. 5. Kontakt mellan två slaggflöden i F88 framträder i påfallande belysning, övre bilden, med hjälp av koncentration av hålrum och kornformer. I genomfallande belysning, undre bilden, syns den ännu tydligare. Slaggflödet i den nedre halvan av bilden med kortprismatiska kristaller avgränsas tydligt mot flödet i den övre halvan med långsmala kristaller. .... 22
- Fig. 6. Slaggernas innehåll av  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  jämfört med  $\text{SiO}_2$ . Slagger från andra undersökta platser i Västergötland har infogats som jämförelse. Se texten för referenser. Dessa visar också en spridning i sammansättning..... 26
- Fig. 7. Slaggernas innehåll av  $\text{P}_2\text{O}_5$  jämfört med  $\text{MnO}$ . Slagger från andra undersökta platser i Västergötland har infogats som jämförelse. Se texten för referenser. 26
- Fig. 8. En jämförelse har också gjorts med ett större material ur GAL:s databas. Oberoende av slaggernas datering eller fyndmiljö, visar dessa i stort visserligen en större spridning av data än för slaggerna från Ledsjö, men de senare täcker in en förvånansvärt stor andel av de samlade analyserade slaggerna (ca 400 st) utan att nå vare sig de högsta eller lägsta halterna. .... 28
- Fig. 9. Högre bariumhalter är korrelerade till högre manganhalter om vi ser på slagger i stort. Detta förhållande kan vi notera för slaggerna från Ledsjö med bariuminnehåll upp till ca 2000 mg/kg. I tre av slaggerna från Ledsjö, når barium upp i värden kring 4000 mg/kg och har tämligen konstant bariumhalt när manganhalten ökar. Se text för referenser..... 29
- Fig. 10. Foto av den bevarade utsidan på ugnsschaktfragment med rester av ytterligare ytskikt (till vänster på fragmentet), som kan vara en ursprunglig del av konstruktionen eller en reparation. A397. Foto: Svante Forenius..... 30
- Fig. 11. Foto av den sintrade insidan på ett ugnsschaktfragment med avtryck efter en flätverkskonstruktion. A397. Foto: Svante Forenius. .... 31
- Fig. 12. Foto av den sintrade insidan på två ugnsschaktfragment varav den lägre brända har bevarat avtryck efter en flätverkskonstruktion. Avtrycken består av såväl bredare som smala, halmliknande. A20137. Foto: Svante Forenius..... 32
- Fig. 13. Foto av den sintrade insidan på ett ugnsschaktfragment med halmavtryck. A707. Foto: Svante Forenius..... 35
- Fig. 14. Foto av ugnsschaktfragment med den mörka förglasade sidan närmast underlagret och rester av ett pinnavtryck på den motsatta sidan. A379. Foto: Svante Forenius..... 36
- Fig. 15. Mikroskopfoto av tunnslip av godset i ugnsschaktfragment F61 från A707, Ledsjö. I det övre fotot i korspolariserat ljus framträder granitmagringen tydligt medan hålrummen efter växtmagringen. Samma del av godset ses i det nedre fotot i planpolariserat ljus. .... 38

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 16. Mikroskopfoto av tunnslip av godset i ugnsschaktfragment F61 från A707. I den nedre delen av godset ses en kant av svarta slagginklusioner som trängt in i schaktväggen från den sintrade insidan precis utanför fotots nedre kant. Planpolariserat ljus.....                                                   | 39 |
| Fig. 17. Den största koncentrationen av ugnslämningar låg i undersökningsområdet mellersta del, väster om en huslämning markerad av blå pinnar. Foto: Svante Forenius.....                                                                                                                                               | 40 |
| Fig. 18. De sex tätt liggande ugnslämningarna A244, A292, A6155, A20136, A20137 och A20138, från norr. Foto: Svante Forenius.....                                                                                                                                                                                        | 41 |
| Fig. 19. (Motsående sida) Plan och profiler över sex tätt liggande ugnar. Skala 1:20.                                                                                                                                                                                                                                    | 42 |
| Fig. 20. A619, från sydöst. I det vertikala partiet under tumstocken fanns färgningar som sannolikt visade var det lodräta vidjorna i en flätverkskonstruktion stått. Till vänster i anläggningen syns hur den kvarlämnade schaktväggens nedersta del hänger ut över slagguppsmalingsgropen. Foto: Svante Forenius. .... | 49 |
| Fig. 21. A619. Plan och profil. I västra kanten syns de lodräta färgningarnas placering. Skala 1:40.....                                                                                                                                                                                                                 | 49 |
| Fig. 22. Bränd/smält lera med avtryck av blästerrör. Foto: Svante Forenius.....                                                                                                                                                                                                                                          | 50 |
| Fig. 23. Schematisk bild över ett blästerrörs anslutning till ugnsschaktet genom en schaktvägg. ....                                                                                                                                                                                                                     | 51 |
| Fig. 24. Trögfluten slagg med växtavtryck. Foto: Lena Grandin. ....                                                                                                                                                                                                                                                      | 54 |
| Fig. 25. Små strängar av stearinslagg. Foto: Lena Grandin.....                                                                                                                                                                                                                                                           | 54 |
| Fig. 26. Stearinslagg med träkolsbitar. Foto: Lena Grandin.....                                                                                                                                                                                                                                                          | 54 |

## Tabellförteckning

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 1. Fynd av slagger från RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland, som har granskats mer detaljerat inför provtagning och efterföljande analyser. Samtliga fynd är reduktionsslagger eller järnhaltiga slagger av typen bottenlagg eller stearinslagg. Andra särskiljande drag som rör flutenhet, struktur, magnetism och avtryck framkommer av tabellen liksom mer specifika drag och vilka fynd som valts för ytterligare analyser. .... | 16 |
| Tabell 2. Totalkemiska analyser av slagger från RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland. Den övre delen presenterar huvudelementen i oxidform (i viktsprocent), den undre övriga element (i mg/kg). Det totala järninnehållet ges i form av Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...                                                                                                                                                                  | 25 |
| Tabell 3. Resultat av <sup>14</sup> C-datering av träkol från blästugnar, RAÄ 150, Ledsjö sn, Västergötland.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 41 |
| Tabell 4. Översikt över konstruktions- och gods-kriterier för analyserad teknisk keramik påträffad i ugnarna på RAÄ 150.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 44 |