

Järnframställning i Fjugesta – analysrapport



Arkeologerna
Statens historiska museer



SKEA
Stilborg Keramikanalys

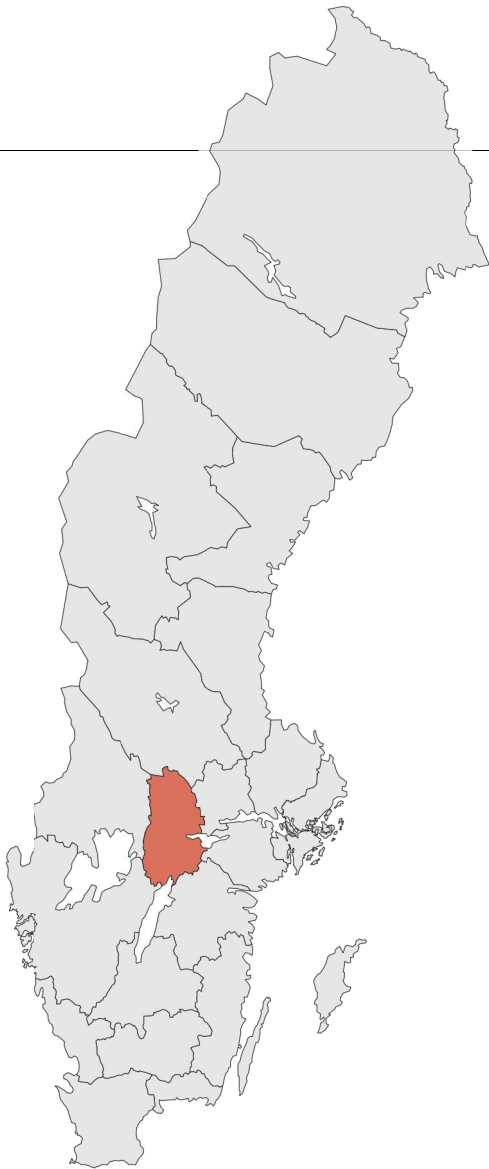
Örebro län, Närke, Lekebergs kommun,
Fjugesta, (Knista socken) Knista-Sanna 1:21,
fornlämning L1981:158 (hög) och blästplats (L2023:955)

Ole Stilborg och Lena Grandin



ARKEOLOGGRUPPEN I ÖREBRO AB
Radiatorvägen 11, 702 27 Örebro
Telefon 019-609 04 10
www.arkeologgruppen.se
arkeologgruppen@arkeologgruppen.se

*Översiktskarta över Sverige med
Örebro län markerat i rött.*



© 2024 Arkeologgruppen AB
Arkeologgruppen rapport 2024:19
Lst dnr 431-6601-2023

Författare	Ole Stilborg och Lena Grandin
Grafisk form	Nina Balknäs
Omslag	Illustration av Nina Balknäs
Figurer	Arkeologerna och SKEA om inte annat anges i figurtexten.

Upphovsrätt, om inget annat anges, enligt Creative Commons licens CC BY.
Villkor finns tillgängliga på <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.sv>

Fastighetskartan: © Lantmäteriet Dnr: R50223371_200001

Terrängkartan, samt GSD-Översiktskartan: Lantmäteriet (CC0)



Järnframställning i Fjugesta – analysrapport

Örebro län, Närke, Lekebergs kommun,
Fjugesta, (Knista socken) Knista-Sanna 1:21,
fornlämning L1981:158 (hög) och blästplats (L2023:955)

Ole Stilborg och Lena Grandin

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	4
Uppdraget och platsen	4
Bakgrund	5
Järnframställning – förutsättningar	5
Lite om forskningen på ugnsväggar	5
En järnframställares råmaterialstrategi	5
Frågeställningar	7
Material och provurval	9
Bränd lera – ugnsväggar	9
Slagg och järn	11
Provurval	12
Metoder och genomförande	14
Granskning och specialregistrering	14
Analysmetoder	14
Resultat	15
Lera och magring(?) – råmaterial till ugnskonstruktion	15
Konstruktionen av ugnarna	19
Råvara, process och produkt	24
Flera malmer är använda	25
Variationer i process	28
Fyllning i slagguppsamlingsutrymmet	28
Snabb avkylning i slagguppsamlingsgrop	29
Bränsleåtgång	33
Ugnsväggarnas användningsspår	33
Det tillverkade järnet	35
Sammanfattning och diskussion av det arkeometallurgiska fyndmaterialet	38
Ugnsväggar	38
Slagger	38
Rumslig placering, råvara och teknik	39
Olika malm men samma teknik	40
Samma malm men olika teknik	40
Hushållning med bränslet	41
Järnet	41
Kol, malm och lera som del i organisationen	41
Återkoppling till frågeställningarna	43
Referenser	45
Bilagor	47
<i>Bilaga 1. Registrering och analys av ugnsväggar från Fjugesta</i>	48
<i>Bilaga 2. Analys av slagg och järn från Fjugesta</i>	95

INLEDNING

Uppdraget och platsen

På uppdrag av Nina Balknäs, Arkeologgruppen AB, har slagg och ugnsväggar från fyndplatsen L1981:158, Närke inledningsvis granskats översiktligt. Ett urval har sedan specialregistrerats. Materialet kommer från en arkeologisk förundersökning som genomfördes under senhösten 2022. Inför undersökningen fanns inget som tydde på att det skulle finnas en järnframställningsplats inom undersökningsytan.

Efter att förundersökningen var genomförd blev det dock uppenbart att det är en järnframställningsplats (blästplats) med rester av 29 ugnar koncentrerade i en halvcirkel intill en trolig kolningsgrop (fig. 1). På andra sidan av kolningsgropen löper en väg varför utbredningsområdet i den riktningen är okänt (Balknäs 2023).

Med något möjligt undantag (ugn A945) var endast den nedre delen av ugnarna bevarade, det vill säga den grop under ugnschaktet där slaggen, restprodukten, ansamlas under processen när järnmalmen omvandlas till metalliskt järn. Enligt fältdokumentationen har groparna olika dimensioner i plan och olika djup. Inga rester från överbyggnaden har dock konstaterats *in situ*. I någon av groparna noterades stenar som ett möjligt byggnadsmaterial till ugnsväggen. Hur ugnarnas schakt har varit uppbyggda, eller vilken form de har haft var inte möjligt att klarlägga vid den arkeologiska förundersökningen.

Arkeologgruppen AB undersökte 23 av de 29 ugnarna och tillvaratog allt material från dessa. Det rör sig om drygt 200 kg slagg och 65 kg ugnsväggar (bränd lera). Eventuellt finns lite malm bland detta, liksom någon enstaka tyngre klump som eventuellt innehåller metalliskt järn. ”Träkol från fem av ugnarna har daterats. Dateringarna fördelar sig i två grupper där den ena sträcker sig från 664–876 e.Kr. och den andra 707–949 e.Kr. Utifrån dateringarna går det inte att säga om det rör sig om en bruksperiod eller två faser. Merparten av kolet kom dessutom från kärnved vilket innebär att egenåldern kan variera.” (Balknäs 2023).

Den inledande granskningen gjordes juni 2023 gemensamt av Lena Grandin (slaggar) och Ole Stilborg (ugnsväggar) tillsammans med Nina Balknäs. Urvalet gjordes med utgångspunkt i en tidigare basregistrering (av Nina Balknäs), ugnarnas rumsliga fördelning och dateringsresultat. Ett urval av slaggar och ugnsväggar specialregistrerades av Lena Grandin respektive Ole Stilborg. Resultaten presenterades i två separata rapporter med gemensam sammanfattning och tolkning (Grandin 2023 och Stilborg 2023b).

Hösten 2023 har resten av fynden av slagg och ugnsvägg från ugnarna och kolningsgropen (A1446) registrerats i ett samarbete mellan Lena Grandin och Ole Stilborg. Under vintern 2023–2024 har olika typer av analyser utförts på utvalda prov. Resultaten presenteras i föreliggande rapport, med två separata analysbilagor, bilaga 1 för den tekniska keramiken och bilaga 2 för slaggar och metaller.

BAKGRUND

Järnframställning – förutsättningar

Förhistorisk järnframställning i blästugn med myr- och sjömalm som råvara är känt sedan tidigare i många delar av Närke från i stort sett hela järnåldern. Flera av dessa platser har undersökts och material har analyserats med olika vetenskapliga metoder (se t.ex. t.ex. Englund & Larsson 1999, Hjärthner-Holdar m. fl. 1999; Grandin & Hjärthner-Holdar 2003; Grandin & Ogenhall 2017). Successivt har kunskapen byggts på om råvaruanvändning, ugnsbbyggnadsteknik och hur processen i ugnen har fungerat. Det tillverkade järnet har studerats i några fall, även om det vanligen är slagger och ugnsväggar som har funnits tillgängligt för dessa studier. Den bild som har växt fram har visat en stor variation i ugnstorlekar, former, byggnadsmaterial och byggnadsteknik. Flera olika malmtyper, med olika sammansättning och därmed olika egenskaper har använts. Det kan också diskuteras om det har funnits geografiska variationer.

För den nyligen påträffade blästplatsen i Fjugesta finns det därmed ett stort antal platser att relatera till, inte enbart ur ett teknologiskt perspektiv utan även när det gäller dess lokalisering, struktur och organisation (se t.ex. Hjärthner-Holdar m. fl. 2018).

Lite om forskningen på ugnsväggar

Ugnsväggsrester – även benämnda schaktdelar när det rör sig om järnframställningsugnar – kan, när de studeras tillsammans med det metallurgiska fyndmaterialet, innehålla mycket information om ugnens konstruktion och dess funktion samt i ett vidare perspektiv om järnframställningsplatsens struktur i tid och rum (Stilborg 2023a). Forskning på detta område har för Skandinavien del huvudsakligen utvecklats inom ett nära samarbete mellan den geoarkeologiska laborieverksamheten vid Arkeologerna i Uppsala och Keramiska Forskningslaboratoriet (fram till 2009) och SKEA (sedan 2009).

En järnframställares råmaterialstrategi

För järnframställning med blästbruk behövs huvudsakligen tre råmaterial: malm, träkol och lera/sten till byggnationen av schaktet. Volymmässigt utgör träkolet det viktigaste råmaterialet och det är dessutom ömtåligt vilket gör det svårt att transportera det längre sträckor. Träkolsbitarna ska vara av en viss storlek för att fungera i processen (E. Hjärthner-Holdar pers. medd). Malm är tungt men kan i övrigt transporteras relativt enkelt – till exempel per släde på vintern. Lera är tungt och initialt behövs en större mängd för konstruktionen av ugnen och därefter mindre mängder för reparation. Ju flera körningar man

kan tänka sig använda samma schakt (med eventuella reparationer) desto mindre blir lerbehovet. Det som oftast kan ses styra lokaliseringen av blästplatsen är närheten till malmkällan men vi kan också se – tydligast vid dubbelugnarna i Småland – att blästplatsen verkar ha flyttats med jämna mellanrum vilket sannolikt kan hänga ihop med att veden till träkol i den omedelbara omnejden har tagit slut och det ansågs bättre att göra nya ugnar där det fanns nytt, lättillgängligt träråmaterial. I långt de flesta fallen har de arkeometriska analyserna visat på att leran till ugnsschakten har kunnat tas från undergrundsmoränen under/nära ugnarna. Ugnsbbyggarna har i nästan alla undersökta fall valt en grov lera vilket också vanligtvis betyder en kvartsrik lera, vilket samtidigt är den vanligaste typen av lera i stora delar av Sverige. Det låter omedelbart som om ugnsbbyggarna utan vidare har tagit vilken lera som helst som det gick att forma. Det är svårt att avgöra men den valda grova leran har samtidigt två egenskaper som lämpar sig väl till schaktbygge. Förekomsten av en lagom mängd sand (>0,6 mm) i leran ger materialet en viss armering vilket gör det mera stabilt för byggnationen av ett uppåtsträvande schakt och en hög andel kvarts hjälper med sin höga värmetålighet till att stabilisera schaktet vid höga temperaturer. Lermineralen som leran består av spelar självklart den viktigaste rollen men ugnsbbyggaren hade ingen möjlighet att kontrollera dem. När man ser på lervalen till bronsålderns deglar och gjutformar står det klart att kvartsens refraktiva egenskap var känd redan då och det är rimligt att denna förståelse även hörde till ugnsbbyggarnas kunskapsbas. Dessa ramar för förståelsen av lera och vilken sort som kommer att fungera bra är dock ganska vida (Stilborg 2023a). Om man befinner sig i ett område där det är svårt att få tag i tillräckligt plastisk lera till schaktet blir det viktigare att kunna utnyttja schaktet så många gånger som möjligt bland annat genom reparationer av insidan (Bennerhag m.fl. 2021). Om det å andra sidan finns ett område med en rik källa till lerråmaterial kan det utgöra en attraktiv fördel för ugnsbbyggarna som kan vara betydande för lokaliseringen av ugnen/ugnarna.

En anledning till att man bygger en stenramsugn kan vara att det underlättar konstruktionen på sandig mark – som i sig är att föredra på grund av den goda dräneringen. Fjugesta-platsen har anlagts på en plats med sandig undergrund, men man har ändå inte valt stenramskonstruktionen trots att denna bör ha varit välkänd i området sedan länge. En möjlig förklaring är att valet av stenramskonstruktion inte bara är ett ingenjörspraktiskt beslut men i lika hög grad beror på vilken hantverkstradition man har upplärts i som ugnsbbyggare.

FRÅGESTÄLLNINGAR

Blästplatsen i Fjugesta utmärker sig på grund av det stora antalet (sannolikt samtida) ugnar; vad som tycks vara en organiserad rumslig struktur och placeringen med ganska långt avstånd till närmaste potentiella malmkälla. Redan den första registreringen och granskningen (Grandin 2023, Stilborg 2023b) belyste en komplex blandning av diversitet och homogenitet på olika områden. Detta ger upphov till en rad frågor till den totala registreringen och de därtill knutna analyserna:

- *Är järnframställningsplatsen placerad intill råvara (malm/lera/bränsle), bebyggelse eller är det annat som har varit avgörande?*
- *Har järntillverkarna använt olika typer av malmer (med olika egenskaper) som har krävt olika detaljer i konstruktion och process för att man ska få järn? Eller är det kvalitet på järnet som efterfrågas?*
- *Har denna aktivitet ägt rum under en lång eller begränsad tidsperiod? Är det en storskalig verksamhet under en kort period, eller en mindre omfattande men återkommande?*
- *Är gruppen av ugnar en sammanhängande enhet där de variationer som förekommer är resultat av utvecklingar/anpassningar över tid?*
- *Har alla ugnarna brukats av samma grupp av hantverkare? Men som av någon anledning har använt olika tekniska lösningar? Har olika järntillverkare haft tillgång till varsin mindre yta och byggt en viss ugnstyp med specifik teknik av hävd, och/eller för att malmen har krävt viss behandling?*
- *Har flera järnframställare samlats på en och samma plats, vid speciell tidpunkt, återkommande (jmf Brumlich 2020, p 148ff)? Har de samarbetat eller arbetat separat?*
- *Vilken betydelse har den (centralt placerade?) kolningsgropen?*

Resultaten kring använd teknik i järnframställningen på Fjugesta-platsen tas också upp i en mer övergripande diskussion av organisatoriska aspekter på platsen och/eller i regionen.

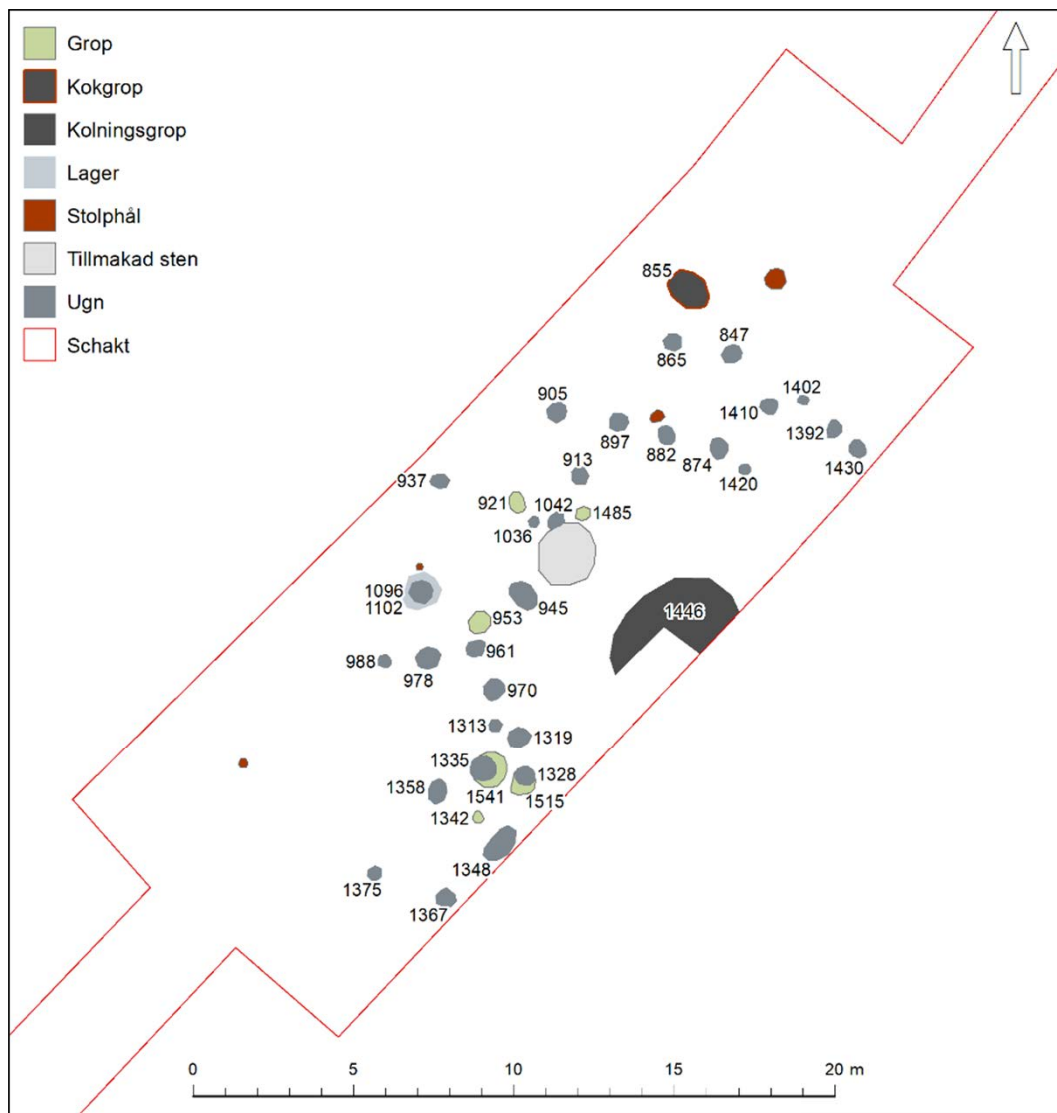
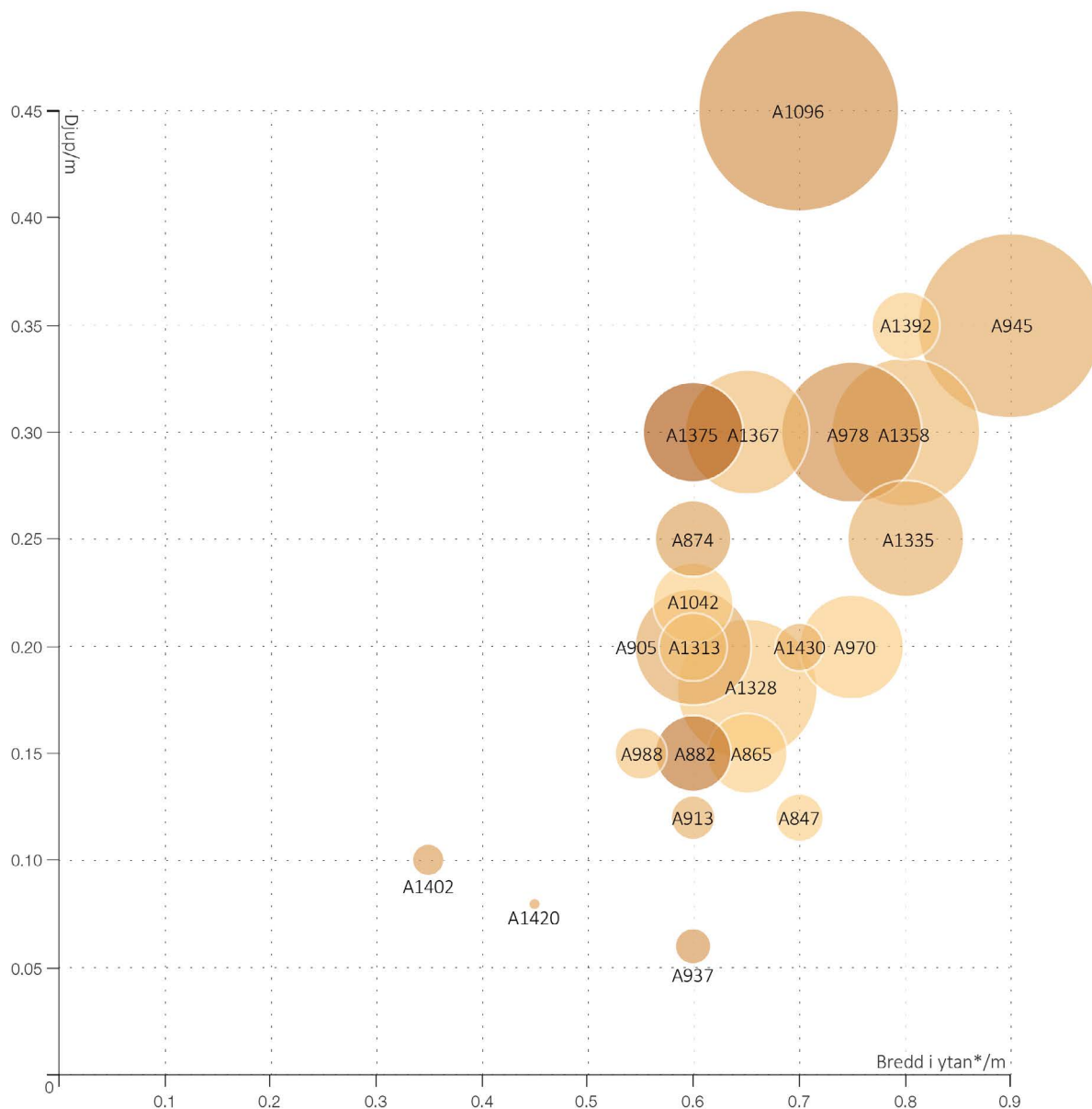


Fig. 1. Plan (från Arkeologgruppen AB) över det undersökta området med ugnar koncentrerade i en halvcirkelformad zon runt kolningsgropen A1446.

MATERIAL OCH PROVURVAL

Bränd lera – ugnsväggar

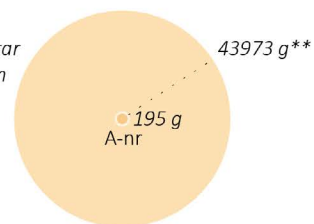
Av de 23 utgrävda ugsanläggningarna (av 29 registrerade) innehöll 17 bränd lera i mängder från 500 gram till mera än 12 kilogram. Enligt den begränsade preliminära registreringen (redovisad nedan) av fynd från sju av de fyndrikaste ugnarna (ca 40 kilogram ugsdelar av totalt 64 kilogram) kan man anta att hela mängden av bränd lera består av rester av schakt från ugnarna och/eller lerfodring av slagguppsamlingsgropar. Detta är i sig anmärkningsvärda mängder för att komma från själva ugsanläggningarna. På platser med större fyndmängder härrör dessa vanligtvis från slagghögarna – vilka saknas i Fjugesta – där bevaringen oftast är bättre (särskilt för de lägre brända delarna av schakten). Fyndmängderna i Fjugesta har en relation till hur väl ugsanläggningarna har bevarats (fig. 2–3) men den ansevärd mängden fragment med bevarad utsida visar på att schakten med största sannolikhet har bränts från utsidan innan de togs i bruk. För den första bedömningen har hela ugnsväggsmaterialet från sju ugnar studerats översiktligt och ett provurval från var och en av dessa sju ugnar specialregistrerats.



Färgen är graderad utifrån den relativa fördelningen mellan slagg och ugnsvägg i varje blästugn



Storleken på cirkeln motsvarar den sammanlagda mängden slagg och ugnsvägg i gram för varje blästugn



* för ovala anläggningar har ett medeltal beräknats. Exempelvis har A945 som mätte 1,1x0,7 m fått medelvärdet 0,9 meters bredd. Samma anläggning hade tvådelad botten som var 0,2 respektive 0,5 meter djup. Även där har ett medelvärde satts.

** 195 g är lägsta vikt för slagg och ugnsvägg i en anläggning och 43973 g är högsta samlade vikt i en anläggning.

Fig. 2. Relationen mellan mängd slagg och bränd lera i undersökta ugnsanläggningar i relation till bevarat djup. Från N. Balknäs.

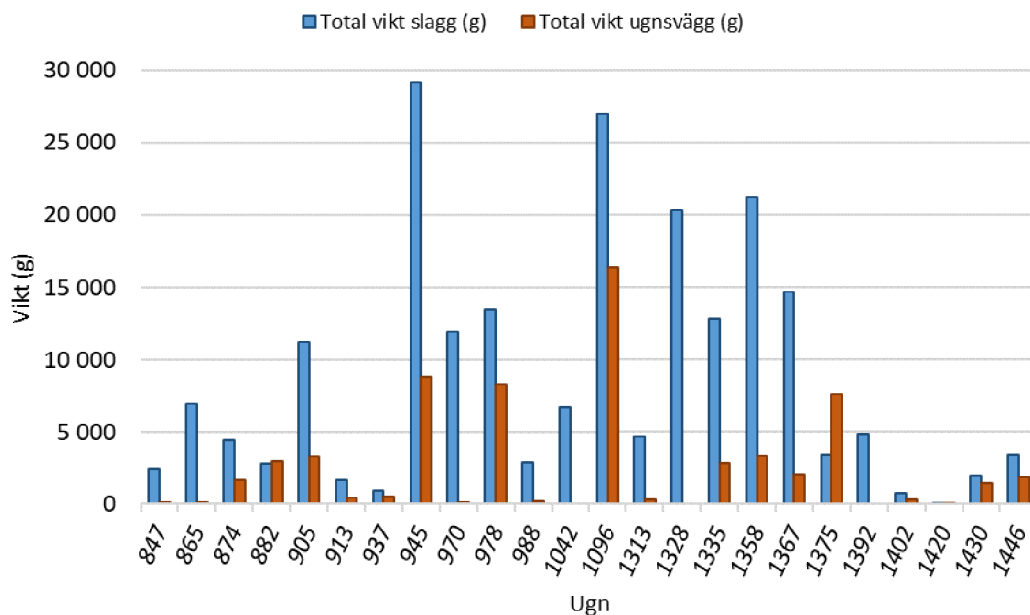


Fig. 3. Relationen mellan mängd slagg och bränd lera i undersökta ugnsanläggningar.

Slagg och järn

Slaggmängden från de undersökta ugnarna varierar. Totalt finns ca 210 kilogram slagg. Alltifrån 150 gram till närmare 30 kilogram fanns i respektive ugn (Fig. 2–3). Den stora spännvidden innebär att materialet inte kan jämföras på helt lika villkor. Från de flesta av ugnarna finns mer än 2 kilogram slagg. Bland slaggerna är det dock, oavsett mängd i respektive ugn, de karaktäristiska stearinformade slaggerna som dominerar. Det rör sig om alltifrån enstaka tunna slaggsträngar till ett fåtal tillsammans. Många är tunna, medan ett fåtal är något tjockare i tvärsnitt. I flera ugnar har också större slaggar byggts upp av ett stort antal tunna slaggsträngar, där dessa har kylts av och stelnat efterhand som de runnit ner i slagguppsamlingsgropen, ofta med tunnare slaggsträngar i de nedre delarna och något tjockare i de övre. Det innebär att det inte är några större slaggflöden som har varit flytande samtidigt, eller att det har varit några större slaggvolymmer som har varit så varma så att slaggen har varit flytande och stelnat i en större bottenslagg. De små strängarna som har stelnat tidigt har delvis också hindrat efterföljande slagg att fylla ut utrymmet. Större bottenslaggar (eller snarare delar av sådana) är observerat endast i ett fåtal ugnar: A945 samt från gruppen av ugnar i söder (A1328, A1335 och A1358). Om större bottenslaggar har bildats även i de ugnar där endast små mängder slagg har påträffats, eller om de städats ut till ett nu försvunnet slagggvarp är oklart.

Det förekommer även mer trögflutna slaggar, men endast i mindre omfattning. En del av dessa är magnetiska vilket antyder att de kan innehålla en del metalliskt järn och har därför studerats mer detaljerat. Flertalet av dessa delades, men många av dem visade sig mest innehålla rost. Dessa är därmed inte

lämpliga för analys för att studera metallen. Denna genomgång visar dessutom att innehållet av metalliskt järn i slaggerna generellt är lågt. Ur produktions-synpunkt är det bra, dvs. med liten förlust av metall. Men det gör det svårare att hitta metall att analysera för att få en inblick i vilken typ av järn som tillverkades. Inledningsvis prioriterades magnetiska klumpar från de ugnar varifrån slagg och/eller ugnsvägg hade valts för analys. Men, de flesta saknade metall varför vi fick välja de klumpar där det faktiskt finns metall kvar oavsett kontext (tab. 1).

Provurval

Efter en granskning och registrering av hela materialet gjordes ett urval för mer detaljerade analyser. Urvalet är gjort för att få en rumslig fördelning av proverna, och samtidigt täcka in de variationer av teknisk keramik och slagg som har noterats vid registreringen.

Så långt som möjligt är både slagg och teknisk keramik prioriterat från samma ugn, men i några fall har det ena eller andra materialet bedömts ha god potential för att få mer kunskap medan det andra materialet inte har prioriterats för analys. Metall som är lämplig för analys förekommer endast mycket sparsamt. Slaggprover som har valts ut för analys har genomgående benämnts A, prover av teknisk keramik B, och metallprover C. I samband med metalldetektering vid en arkeologisk förundersökning i anslutning till järnframställningsplatsen påträffades en liten järnbit (F3). Den har valts ut av uppdragsgivaren för att se om den på något sätt uppvisar likheter med och kan knytas till järnet på järnframställningsplatsen.

En del teknisk keramik har vid registrering visat sig vara slagger. Denna justering har påverkat vikten i varje fynd, med störst effekt för den tekniska keramiken (som är betydligt lättare). Justering har inte gjorts i fyndposten för slagg där förändringen i en fyndpost med storleksordningen tiotalet kilogram endast är marginell. Några bitar som ursprungligen registrerades som slagg har under arbetets gång också omregistrerats till teknisk keramik. I vissa fall rör det sig om bitar där de båda materialen förekommer sammansmälta i samma bit och det inte är entydigt inom vilken kategori de ska registreras. Om den tekniska keramiken har mer information för tolkningen har de registrerats inom den kategorin. Inte heller i dessa fall har slaggvikten justerats.

Ugn	Slagg (A)	Teknisk keramik (B)	Metall (C)
847	x		
874		x	
882	x	x	
905	x	x	
945	x	x	
970	x		
978	x	x	x
1042			
1096	x	x	x
1313			
1328			
1335	x		
1358		x	
1367	x	x	
1375		x	
1392	x		
1402		x	x
1430		x	x
1446		x	

Tabell 1. Prover från respektive ugn som har valts ut för analys.

METODER OCH GENOMFÖRANDE

Inledningsvis har en okulär granskning gjorts av allt material (se inledningen). Därefter gjordes urval för olika typer av analyser, där olika materialtyper har analyserats med olika metoder för att kunna belysa de uppställda frågeställningarna. Alla metoder, inklusive provpreparering och deras möjligheter, beskrivs i bilaga 1 för den tekniska keramiken. De metoder som har använts för slagger och metaller beskrivs i bilaga 2.

Granskning och specialregistrering

Granskningen är gjord på hela och, i vissa fall, delade bitar. Observationer kring former, färger, storlekar, förekomst av avtryck eller grad av magnetism har noterats då detta bedömts kunna bidra med mer bakgrund till tolkningen i stort.

Analysmetoder

I undersökningen ingår flera olika analysmetoder (Bilaga 1-2) för olika materialtyper.

- *Den tekniska keramiken har analyserats mineralogiskt genom mikroskopering av tunnslip i polarisationsmikroskop; kemiskt genom användning av P-ED-XRF-metoden och termiskt enligt Thermo Colour test samt sintringsintervallanalys.*
- *Slagger analyseras med totalkemiska analysmetoder (ICP) och på polerade tunnslip i polarisationsmikroskop för att se detaljer i process och uppbyggnad.*
- *Metaller analyseras på polerade och etsade prover i polarisationsmikroskop för att se metallens sammansättning och hur den är bearbetad.*

RESULTAT

Lera och magring(?) – råmaterial till ugnskonstruktion

Lera var det viktigaste råmaterialet till konstruktionen av ugnarnas schakt. Variationen i detta råmaterial på en plats som Fjugesta med flera ugnar bestäms av flera olika faktorer där den geologiskt och geografiskt bestämda tillgängligheten; ugnskonstruktörernas preferenser och typen av ugn är de viktigaste. Ett smalt urval och en begränsad förekomst av användbar lera i tillräcklig mängd för ett schaktbygge – som till exempel i Norrland (Stilborg 2018) – tenderar att standardisera råmaterialvalet bland ugnar spridda i tid och rum. Ett sådant förhållande kan dölja existensen av olika grupperingar av ugnbyggare. En motsatt situation där lera är rikligt förekommande men samtidigt av mycket varierande sammansättning kan leda till uppfattningen av en större brokighet av aktörer än vad som är fallet. Utöver storleken på ugnen spelar ugnstypen en enkel men viktig roll för behovet av råmaterial. Stenramsugnar och särskilt ugnar med i huvudsak stenbyggda schakt (Englund 2002, 189f) har ett mycket mindre lerbehov än de som huvudsakligen byggts av lera. I det senare fall kan behovet vara så litet som 5–10 kilogram.

Fjugesta-ugnarnas schakt bestod nästan uteslutande av lera (se diskussion av konstruktion nedan) men verkar ha varierat en del i storlek utan att ha varit särskilt små eller särskilt stora. Behovet av lera har alltså varit relativt stort och då platsen har anlagts på en sandplatå, vilket har varit idealt utifrån en dräneringssynpunkt, så har leran fått skaffas från annat håll. Av SGU's jordartskarta över området (fig. 4) framgår att det inom en 400 meters radie finns postglacial lera (vanligast förekommande), glacial lera, sandig morän och morän-lera. Det har inte utförts någon lerkartering i samband med projektet och SGU's beskrivning av avlagringarna siktar primärt på en förklaring av de geologiska processerna – inte på lerans keramiska kvaliteter. Beteckningen "sandig morän" betyder vanligtvis att materialet innehåller för lite lera för att vara användbar. Moränlera är en beteckning som kan täcka en stor variation i sammansättning; glacial lera tyder på en mera välsorterad lera medan postglaciallera ofta har en god plasticitet men mycket väl kan vara kalkhaltig vilket självklart bör undvikas till ett keramiskt material som ska tåla höga temperaturer. Markant förekommande inom området är också sediment från en isälv som passerar (N-S) strax förbi ugnplatsen. Isälvsediment är sorterade av vattenströmningen varierande från finare lera till grus beroende på kraften i strömmen vilken också har varierat kraftigt bl.a. årstidsvis. Av ovanstående kan såväl den glaciala och den postglaciala leran som isälvsavlagringen ha varit av intresse för ugnbyggarna.

Utifrån den makroskopiska registreringen har leran bedömts som fin, siltig förutom enstaka ugnsväggsfragment från ugn A945 (möjligen två olika schakt) samt leran tillhörande ugn A905 och den som påträffats i kolningsgropen A1446,

som bedömdes som aningen grövre (mera finsand/sand) (Bilaga 1, tab. 3). På schaktfragment från ugnarna A874, A905 och A1430 observerades en fin porighet eller avlånga avtryck som skulle kunna representera tillsatt växtmagring. Det senare är ganska vanligt förekommande särskilt i de västra delarna av Sydsvrige (Stilborg 2023a). De efterföljande analyserna – petrografisk analys av tunnslip på 10 fragment, kemisk analys med P-ED-XRF på 8 prov och termisk analys på 6 prov – bekräftade i stort sett dessa observationer (fig. 5). De visade på en fin till mellangrov, siltrik, mycket väl sorterad lera (se närmare detaljer i bilaga 1D-E) med en begränsad mineralogisk variation. De mellangrova lerorna motsvarade de som bedömdes makroskopiskt som grövre men skillnaden är liten. Av stor betydelse för slutsatsen att lerorna i samtliga prov har samma ursprung är förekomsten av diatomeer (ofta tillsammans med spongienålar) i åtta av proven. I ett av proven från A945 (Ts 3) och provet från A1367 gjordes inga observationer, men i båda fallen var de lågbrända delarna, där kiselskeletten kunde ha bevarats, mycket begränsade. Ingen diatoméanalys har utförts men formvariationen antyder att artsammansättningen är densamma (fig. 6). Den makroskopiska registreringen misstänkte att avtryck och fin porighet i fragment från ugnarna A905 och A1430 kunde betyda växtmagring, men med undantag för några sannolikt naturligt förekommande fragment i provet från A1402, observerades inga spår efter växtrester som kunde utgöra tillsatt magring.

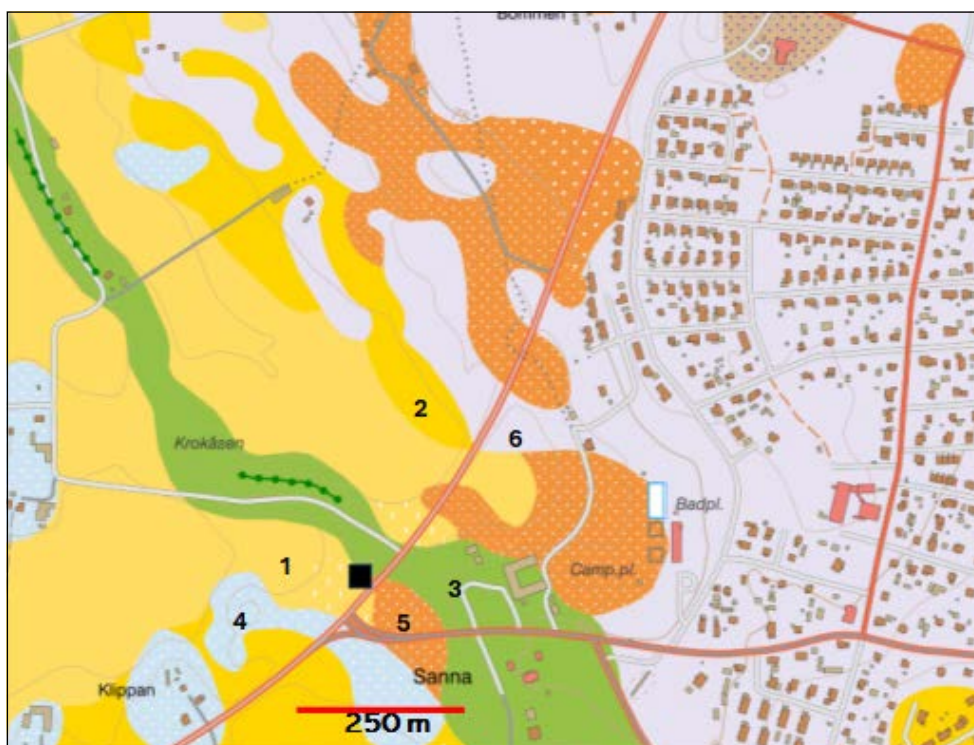


Fig. 4. Jordartskarta över Fjugesta-området (SGU:s kartvisare). Fyrkant indikerar fyndet. 1: Postglacial lera, 2: Glacial lera, 3: Isälvssediment, 4: Sandig morän, 5: Postglacial sand, 6: Moränlera.

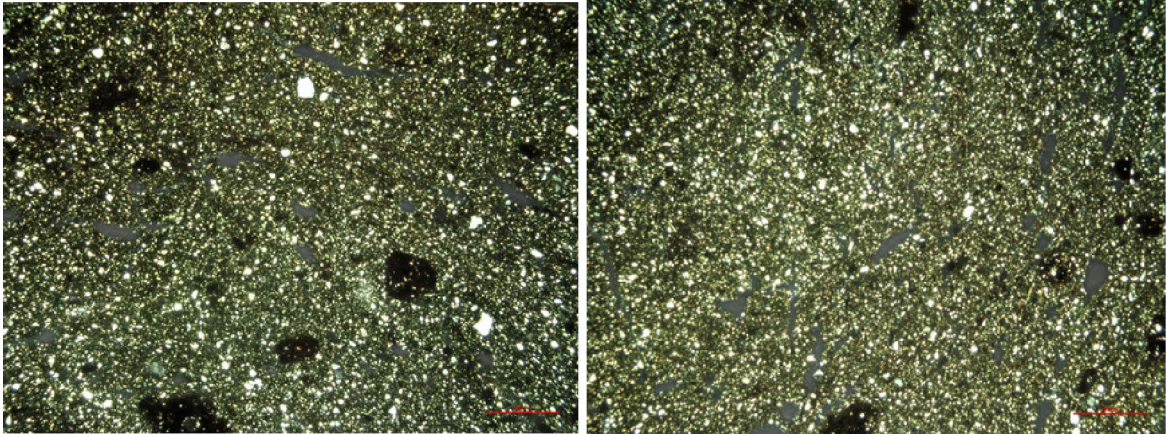


Fig. 5. Mikroskopfoton av Ts 2, A905 (mellangrov, rik på järnoxidkoncentrationer) tv och Ts 10, A1430 (fin, få järnoxidkoncentrationer).

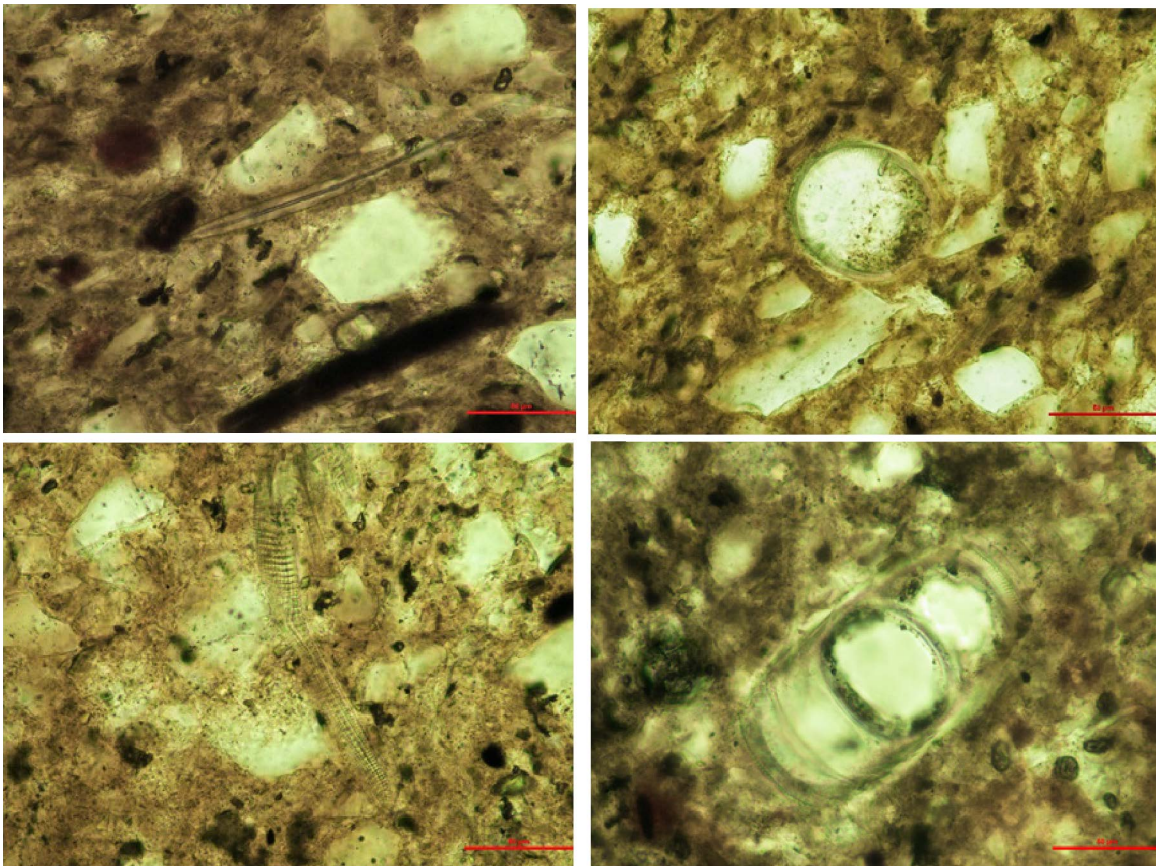


Fig. 6 Mikroskopfoton av spongienål i Ts 4, A945 (ovan tv) och av diatomeer i Ts 6, A1096 (ovan th) och Ts 9, A1402 (nedan).

De kemiska analyserna visade på en mycket begränsad variation, Vissa par av kemiska element är alltid positivt korrelerade – exempelvis titan och vanadin – men material med olika ursprung har olika gradient i deras spridning. Proven från Fjugesta har en spridning med samma gradient med provet från kolningsgropen Al446 som en utliggare på grund av ett lägre värde för vanadin i förhållande till Ti-halten (fig. 7). Provet avviker dock inte avgörande på några andra områden så avvikelserna bör inte övertolkas men tyder på att material har tagits på flera ställen. Att provet härrör från kolningsgropskontexten kan innebära att det finns en kronologisk skillnad i förhållande till ugnskontexter eller att materialet härrör från nu försvunna ugnar på andra sidan gropen.

Resultaten av den termiska analysen i form av färgutvecklingen mellan provets ursprungliga bränningstemperatur och lerans sintringstemperatur pekar också på någon variation i materialet – främst beroende på variationer i de primära färgande ämnena järn och kalk. Sintringstestet visade emellertid att värmetåligheten var likartad – proven börjar smälta och förglasas mellan 1200 och 1300°C - vilket motsvarar vad som är vanligt för sydsvenska kvartära leror. Fjugestas ugnsväggare har därför haft en stabil tillgång på homogen lera med en antagligen ganska god plasticitet och en bra värmetålighet.

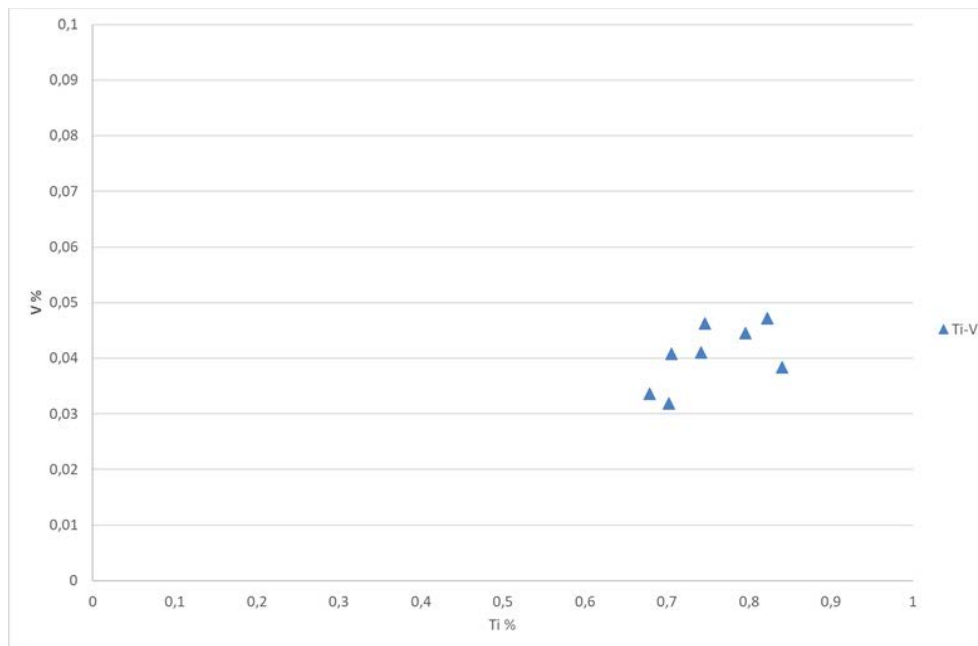


Fig. 7. Diagram över P-ED-XRF-data för halten av Ti och V i åtta ugnsväggsprov från sex Fjugesta-ugnar och kolningsgropen.

Konstruktionen av ugnarna

Lera var det dominerande råmaterialet till ugnens konstruktion. Undergrunden på området består huvudsakligen av sand, vilket ger en bra, önskvärd dränering som sannolikt är en av orsakerna till lokaliseringen av blästplatsen. Det betyder emellertid också att slaggropens sidor inte är helt stabila och egentligen skulle det vara upplagt att välja att bygga en stenram som bas för ugnsschaktet – en lösning som var välkänd inom området och under denna tid (Stilborg 2023). Enstaka avtryck av sten har observerats på slagger från ugnarna A882, A905, A970, A1335 och A1367 (bilaga 2B, tab 2:1 och 2C, 34f; fig. 14 nedan) samt på ugnsväggsfragment från ugnarna A1313 och A1402 (bilaga 1B). Men de är för få för att man kan sluta sig till förekomsten av stenramar. Snarare rör det sig om enstaka stenar vilket stämmer väl överens med observationer under utgrävningen. Dessa kan dock utmärkt vara avsiktligt placerade som stöd för någon svagare del av gropen. På enstaka slagger har även observerats ett relativt lågbränt, oxiderat lerlager som kan representera rester av en lerfodring av gropen (bilaga 2C, 37), vilket också är vanligt förekommande på annat håll under hela järnåldern.

Bland fynden av ugnsväggsrester upp till 200 gram från 10 anläggningar (Bilaga 1C, Tab. 2) observerades inga spår av andra konstruktionselement. Detta gäller dock också schaktfragmenten från de fyndrikare ugnarna A874, A913 (Tab. 2). Det är således möjligt att dessa enbart var byggda av lera. I ugnsväggs materialet från 10 av 16 ugnar med mera än 200 gram fragment påträffades enstaka avtryck av vidjor/pinnar med diameter på 0,5–1 cm och 2–4 cm men bara 1–3 avtryck/fynd (fig. 8). Flera av dessa avtryck kan ses att ha legat nära eller infällda i schaktets utsida (fig. 8, ovan th) i motsats till den vanligaste observerade placeringen nära mitten av ugnsväggen.

Anlägg	Fnr	Mängd g	Antal lågbr	Antal högbr	Max tjocklek lågbr/högbr i cm	Avtryck	Lera
874	1512	1753	14	16	2,6/3	Ej obs.	Fin, porig
882	1390	3054*	47	39	3/5,5	Pinn, sten?	Fin
905	1283	3317*	36	27	2,5/3	Spån	Mg?, växt?
913	1308	405	15	2	1,9/3,6	Ej obs	Fin
937	1292	491	19	4	1,5/3,5	Pinn, spån	Fin
945	1565	8800	14	17	2,5/4	Pinn, övr	Mg?
978	1563	8313*	62	99	5/7,5	Pinn	Fin
1096	1126 1290	16394	119	49	3,5/3,5	Pinn, spån	Fin
1102(!)	1122	586	18	1	2,5/1,5	Spån?	Fin
1313	1539	353*	12	6	2,5/1,5	Pinn, sten?	Fin
1335	1558	2889	29	31	2/3,5	Stolp?	Fin
1358	1535	3359	29	12	3/4,5	Spån, vidje	Fin
1367	1459	2066	40	40	3/3,5	Pinn	Fin
1375	1530	7569	15	73	3/4	Pinn, stolp	Fin
1402	1479	333	7	5	2,2/2	Sten?, spån	Fin
1430	1467	411*	9	7	1,5/2	Pinn, spån, stolp	Fin, växt?
1446	1493-4	1911*	5	42	2,5/3,5	Ej obs	Fin, Mg

Tabell 2. Översikt över fynd av ugnsvägsrester från 17 ugnsanläggningar och en kolningsgrop med större keramiska fyndmaterial. Data om antal, dimensioner och konstruktionsspår är baserade på fragment större än 3x3 cm. * Mängd ändrad på grund av frånsortering av slagg m.m. respektive tillsortering av ugnsväggsfragment. Legend: Mg = mellangrov.

Liknande ytligt placerade pinnar/vidjeflätverk kan ha existerat på andra ugnar som inte förbränts som det är fallet med Fjugesta-ugnarna (se nedan). De för Fjugesta än så länge unika kilformade spån vars avtryck har observerats på sju av ugnarna har med något undantag också suttit ytligt i schaktväggen (fig. 8, tv och mitt). De flesta och tydligaste spåren ses på schaktrester från ugn A1096. Oftast ses bara den plana, ibland räfflade ytan eller en rak kant i ett koniskt avtryck (varav det antagna kilformade tvärsnittet). Sammantaget tycks spånen ha varit 1,5–2 cm breda och intill 1 cm tjocka. Som nämnts ovan kan det på grund av det ovanligt konsekventa bevarandet av schaktutsidor på

blästplatsen i Fjugesta vara svårt att avgöra hur speciell denna byggt teknik har varit. Det enda kända jämförbara fyndet i Sverige (Stilborg 2023a) är ett antal små ugnar på Ledsjö-blästplatsen i Västergötland (ÄRJÅ, Forenius m.fl. 2008) där schaktet har byggts upp kring ett inre flätverk av platta vidjor. Såväl dessa som de yttre spånen i Fjugesta har brunnit upp i samband med användningen respektive för-bränningen av ugnen men i det förra fallet har den flätade kärnan haft en tydlig stödjande funktion under konstruktionen av schaktet. De yttre spånen (och pinnarna) på Fjugesta-ugnarna kan svårligen ses att ha haft någon liknande funktion eller i alla fall långt ifrån någon effektiv sådan.

På ugnsväggsrester från fyra ugnar (Tab 2) har spår efter större trä-konstruktionsdelar observerats. I tre fall tycks upp till 6 cm tjocka grova pinnar/stolpar ha stöttat schaktet på utsidan av ugnen (fig. 8 nedan th). Liknande har observerats på en ugn från Godegård, Östergötland (Stilborg 2022). Fyra ugnar (A937, A945, A1096, A1430) har kombinationer av de olika typerna av konstruktionselement – exempelvis pinnar, spån och yttre stöd(ram?) på A1096 och A1335 (fig. 8). För A945 kan komplexiteten vara ett resultat av att ugnsväggarna härrör från två på varandra följande schakt på samma plats (bilaga 1B).



Fig. 8. Foton av fragment med avtryck av kilformade spån nära utsidan från ugn A1096 (vänster och mitt); av pinnavtryck nära utsidan (pil) från A1375 (övre höger) och av större stolpar(?) på utsidan av ugn A1335 (höger nedre).

Rester av möjliga blästhål har observerats i materialet från A1096 (diameter 5 cm) och A978 (diameter 3,5 och 4,5 cm). Med tanke på att schakten har bränts innan de togs i bruk är det ett förvånande litet antal. Vad det beror på är svårt att ge någon rimlig förklaring på.

Några fragment med bevarad utsida och en böjd kant skulle enligt bedömning gjord av Eva Hjärthner-Holdar (pers. medd.) kunna vara rester efter en separat lucka i schaktet, vilken skulle kunna underlätta uttagningen av luppen efter en körning av ugnen. Liknande konstruktion har tidigare observerats på det förromerska blästugnsområdet Röda Jorden i Västmanland (se Wedberg 1988 allmänt om områdets fynd).

Från ugnarna A913 och A945 finns schaktfragment med hela tjockleken på 3,6 och 4 cm bevarat. Även observationer på fragmentens värmegradient (spår av temperatur och bränningsatmosfär från insidan utåt mot/till utsidan) och andra mått på fragment från dessa två ugnar inklusive bredden på reduktionen (mörkfärgningen) av godset från insidan utåt mot utsidan stödjer tolkningen att schaktet till dessa ugnar har varit 4–6 cm tjockt inom blästerzonen. Jämförelsen mellan dessa observationer och schaktfragmentens dimensioner på ugnarna A874, A905, A1096, A1335, A1358 och A1402 tyder på att dessa ugnar har haft schakt av liknande storlek. Ugnarna A1367 och A1375 ser ut att ha haft något tjockare schakt (5–6 till 8–9 cm) medan ugnarna A882 och A978 har haft klart tjockare schakt (10–11 cm och 8–16 cm).

Om man på planen över området markerar spridningen av förekomsten av de kilformade spånen i schaktkonstruktionen och av kombinationer av spånpinnar-stolpar/ytte stöd (komplex konstruktion) ser man att dessa ugnar ligger i utkanten av platsen (fig. 9). Detta skulle kunna betyda att de hör till ett senare skede av platsens brukningstid samtidigt som de visar på att ugnbyggnadsteknologin justerades – man får tro mot ett mera hållbart resultat. Med sin placering invid kolningsgropen A1446 avviker ugn A945 tydligt från denna spridning men där finns en ganska stor möjlighet att komplexiteten beror på sammanblandning av rester från två olika schakt som uppförts på samma plats. Spridningen av ugnar med tjockare schaktväggar är mera oregelbunden, men samtliga fynd inkluderar sekundärt förglasade fragment som sannolikt kommer från tidigare schakt. Fynden kan därför representera senare schakt på platser som tidigare använts och således även de tillhöra ett senare aktivitetskede.

Utsidan av schakten på järnframställningsugnarna är mycket sällan bevarade av den enkla anledningen att de enbart bränts av värmepåverkningen från processen inne i ugnen. När den utstrålade värmen har sjunkit till under ca 500 grader C på väg ut genom schaktväggen blir resten av ugnsväggens tjocklek inte bränd utan enbart torkad och den kommer att återgå till lera (Stilborg 2023a). En ugn som ska återanvändas efter en vinter behöver få utsidan renoverad. Vi kommer aldrig att kunna identifiera spåren efter detta arbete men de zoner av oxiderad lera, som ofta syns runt utgrävda ugnrester,

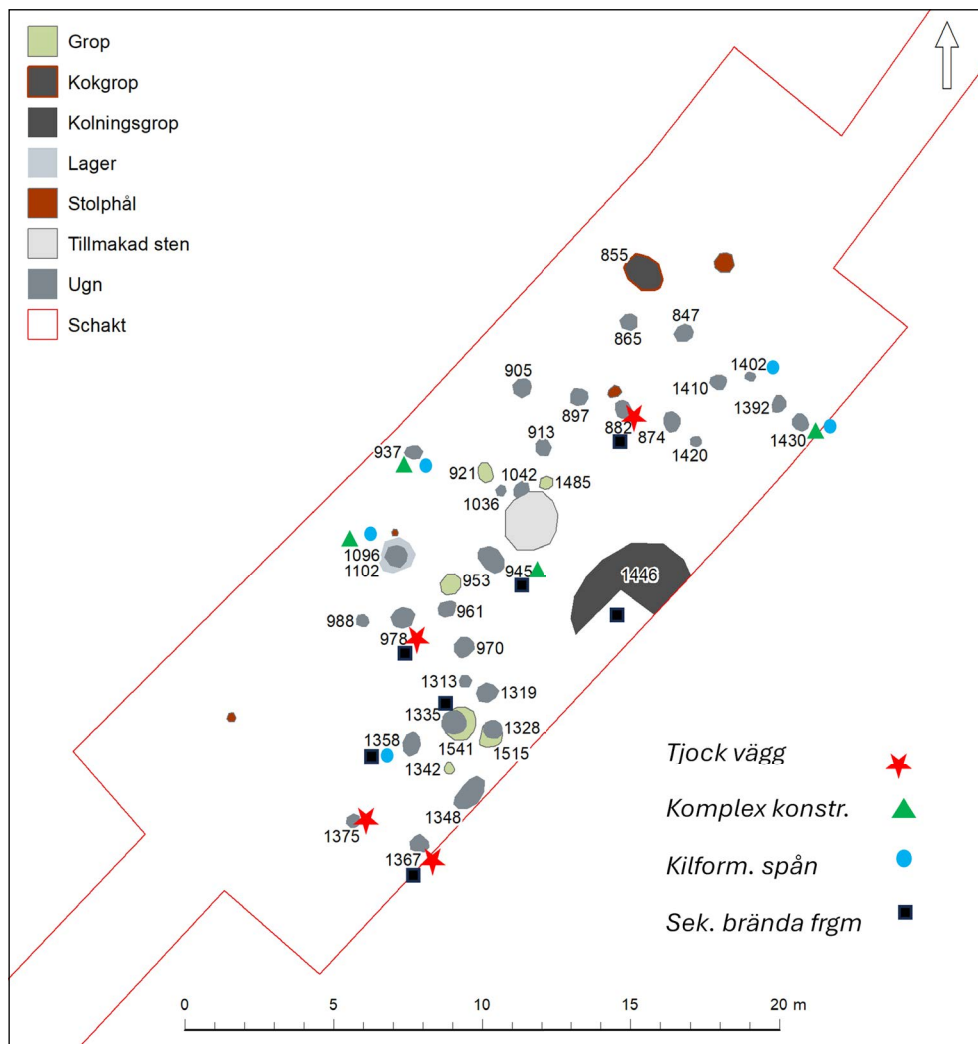


Fig. 9. Plan över den utgrävda delen av blästplatsen vid Fjugesta (N. Balknäs del.) med markeringar av förekomst av olika karakteristika för ugnsväggsfynden i olika ugnrester.

representerar det som är kvar efter schaktens utsida. Fjugesta-ugnarna skiljer ut sig genom de många fragmenten av bevarade formade utsidor (där det även suttit stödjande pinnar/spån på flera) som måste betyda att man innan ugnarna togs i bruk brände schakten med ett bål runt utsidan. Med denna metod stabiliserades schaktet effektivt och man kunde innan körning av ugnen laga eventuella sprickor som kunde uppstå samtidigt som risken för nya sprickor minskades. Detta extraarbete tyder på en genomtänkt, framåtblickande strategi som sannolikt också inkluderat att schakten skulle motstå vinterns härjningar väl mellan körningarna under sommarhalvåret.

Råvara, process och produkt

Frågor som är intressanta att belysa generellt för järnframställning, och även för denna plats är vilken eller vilka malmer som har använts, hur processen har fungerat i ugnen; vilken typ av järn eller stål som tillverkades, och i vilken omfattning. Även om ett stort antal ugnrester har påträffats, med ställvis mycket slagg och ugnsväggar, finns det dock ingen malm, och nästan ingen metall att undersöka. Därför utgör slaggerna vår viktigaste källa för dessa frågor. Redan vid en första granskning av slaggerna noterades flera skillnader mellan dem. Alla är dock karaktäristiska reduktionsslaggar med stearinformade slaggsträngar, med typiskt utseende för avfallet från blästugnar med underliggande slagguppsamlingsutrymme (slaggrop). Men, det finns olika varianter vad gäller färg, form och förekomst av avtryck med en spännvidd som är större än vad man skulle kunna förvänta inom en och samma järnframställningsplats med en, förmodat, kort brukningstid.

Det blev därmed betydelsefullt att ta reda på om slaggar med olika utseende och form (fig. 10–11) speglar användning av olika malmer, olika tekniker i processen (och ugnskonstruktionen) eller en kombination av båda. Slaggerna har också visat sig ge inblick i ytterligare några tekniska detaljer i processen.



Fig. 10. Exempel på några av de karaktäristiska slaggformer som förekommer bland slaggerna från Fjugestas ugnar. A: från ugn A1392, små dropp- och stearinformade slaggsträngar. B: en slagg (från ugn A1392) där stearinformade slaggsträngar har format en större slagg. C: slagg (från ugn A1096) där stearinformade slaggsträngar har stelnat runt och formats av vedstycken. D: Slagg från ugn A847 där stearinformade slaggsträngar har avtryck efter tätt liggande parallella strån. Detta är tydligt även i A945 (se fig. 13).

Slaggernas kemiska sammansättning är ett resultat av råvaran (malmen) såväl som processen och det har därför varit viktigt att kunna särskilja dem här. Bland de yttre attributen som är tydliga är skillnader i färg. Färgskillnader kan bero på högre (mörkare) och lägre (ljusare) innehåll av järn (totalt) och i så fall spegla olika utvinning. Alternativt är färgskillnaden en effekt av hur slaggerna har stelnat från smält form i ugnen (slagguppsamlingsutrymmet). Om de har stelnat långsamt, resulterar det i en grovkornigare slagg som är mörkare än om de har stelnat snabbare vilket medför en finkornigare och ljusare slagg (för ungefär samma sammansättning).

Fig. 11. Större bottenslagg (från ugn A1335) där de tunna slaggsträngarna är tillplattade och stelnade mot stenar i väggen.



FLERA MALMER ÄR ANVÄNDA

Bland alla slaggar och ugnsväggsfragment skulle man kanske kunna förvänta sig att hitta åtminstone någon enstaka malmklump som har tappats på platsen. Någon sådan har dock inte kunnat identifieras. Det finns flera möjliga orsaker till avsaknaden. Den mest sannolika beror på att merparten av det arkeometallurgiska materialet kommer från ugnarna, eller snarare slagguppsamlingsutrymmet i nedre delen av dem. Om processen har fungerat bör all malm som fylldes i schaktet i ugnens övre del under varje körning (uppsättning) ha reducerats till metall på sin väg ner genom ugnsschaktet, och därmed bör all malm vara förbrukad och inte finnas i slaggropen. Vi kan också fundera kring platsens struktur och ugnsplacering och vilka aktiviteter som har ägt rum där. Ugnarna är tätt placerade och lämnar inte mycket utrymme till annat, även om de kanske inte var i bruk exakt samtidigt. På järnframställningsplatser i allmänhet kan man förutom ugn(ar) hitta rester efter slaggvarp, kol- och malmupplag eller till och med rostningsplats för malm. På denna plats

är det, enligt uppdragsgivaren de många ugnresterna som är utmärkande, liksom den större kolningsgrop som ser ut att vara centralt placerad i den halvcirkelformade (eventuellt ursprungligen helcirkelformade) utbredningen av ugnar som observerades, men som ursprungligen troligen bredde ut sig symmetriskt även på andra sidan kolningsgropen. Eventuella malmupplag, eller rostningsplatser, skulle kunna förväntas på högre marknivåer och har i så fall inte kunnat observeras på denna plats. Någon form av malmupplag bör ha funnits för att framställningen skulle fungera, men rostningen av malmen kan ha skett på annan plats vilket minskar förutsättningarna att hitta malm. Det förefaller dock som om järnframställningsplatsen har haft en större utbredning och ett malmupplag kan ha funnits utanför den undersökta ytan. Men, har ett sådant i så fall varit gemensamt för alla ugnar, med en och samma malm? Resultaten från de kemiska analyserna av slaggerna från några av ugnarna ger indirekt en bild av att flera olika malmer har använts. Detta behöver inte nödvändigtvis utesluta ett gemensamt malmupplag, men att olika malmer har använts under platsens brukningstid (bedömt utifrån slaggernas varierande kemi) speglar därmed byte av malmtäcker.

Variationen i slaggernas kemi, med några viktiga signaturer, bl.a. spårämnen, utvärderas i detalj i bilaga 2E, men det är värt att framhäva ämnena mangan (MnO) och barium (Ba) som distinkta indikatorer. Inte minst viktigt är att se hur dessa båda samvarierar, på ett sätt som är karaktäristiskt för myrmalmer.

Merparten av de analyserade slaggerna från Fjugesta har låg manganhalt (<1,3 % MnO); fem av dem (A847A, A882A1, A970A, A1367A och A1392A) t.o.m. lägre än 0,4 % MnO; vilket är lägre än de flesta andra som har analyserats från Närke. Dessa fem varierar i bariumhalt från knappt 200 ppm till drygt 400 ppm (fig. 12). De har endast få motsvarigheter bland slaggar från Närke varför det är möjligt med en malmkälla (eller flera källor) som inte har identifierats i tidigare studier.

Fem andra slaggar som uppvisar stor spridning i MnO, från 0,6 % i de båda slaggerna från A945 till 3,7 % i A1335A, har även en spridning i Ba (ca 250–1765 ppm) med likartade proportioner vilket antyder en samhörighet (se skissad röd linje i fig. 12); här kan dock noteras att slaggen från A1335 har betydligt högre fosforhalt än de övriga varför den har ytterligare en annan källa. De fyra övriga i denna grupp (A945A2, A945A5, A1096A och A905A) uppvisar dessutom likartade proportioner som i flera slaggar från den vendeltida järnframställningen i Västra Via, Vintrosa (Willim m.fl. 2006, Sundkvist 2010).

En annan slagg (A978A) utmärker sig med betydligt lägre bariumhalt (knappt 500 ppm) i förhållande till en för Fjugestas slaggar jämförelsevis hög manganhalt (ca 3 %). Visserligen skulle man kunna tänka sig en koppling med några av de andra slaggerna med en betydligt flackare linje (grå i fig. 12), men det avviker också från andra referensslaggar. Dessutom utmärker sig slaggen A978A på många andra sätt (koboltinnehåll, som inte finns i de andra och en avvikande signatur av sällsynta jordartsmetaller; se bilaga 2E), varför det är mindre troligt med en koppling till de andra slaggerna.

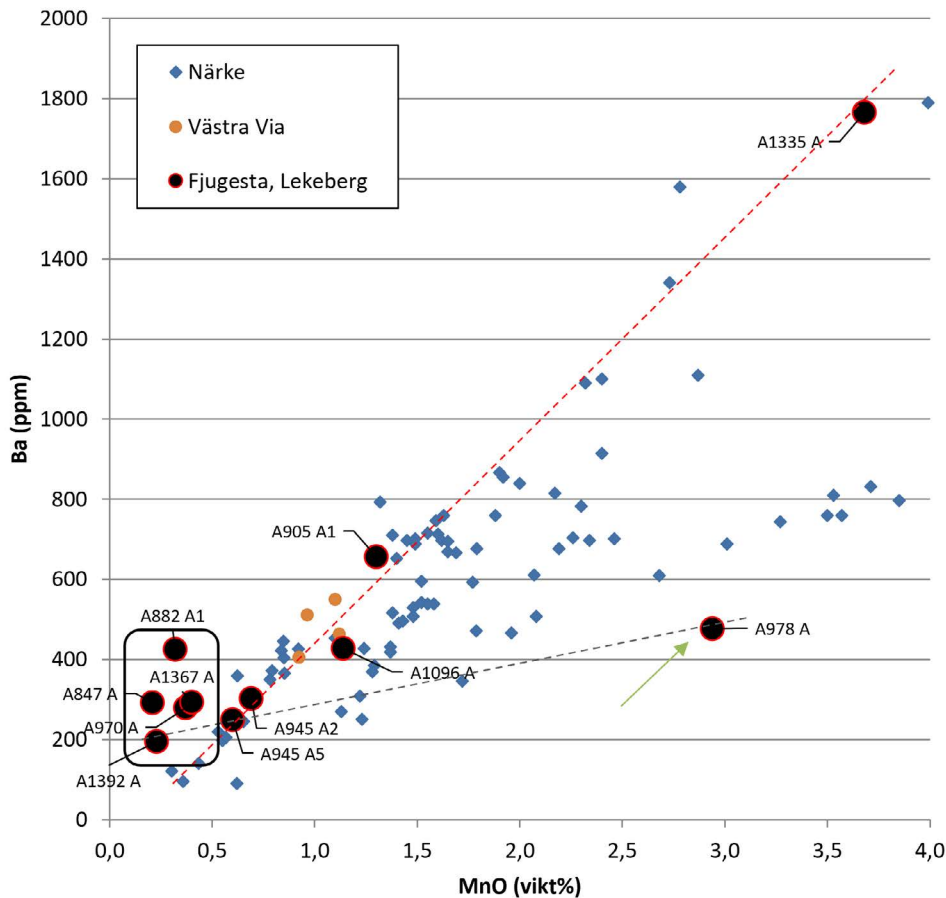


Fig.12. Innehållet av mangan (som MnO) och barium (Ba i ppm) i slaggerna från Fjugesta jämfört med tidigare analyserade blästslagger från både äldre och yngre järnålder i Närke vilka även sprider över ännu större intervall med manganhalter till ca 20 % (se bilaga 2E). De flesta slaggerna från Fjugesta har jämförelsevis låga halter. En grupp (svart ruta) har likartad (och låg) MnO men varierad Ba, en annan grupp följer en allmän trend (röd linje) med samma kvot av MnO-Ba. En slagg (grön pil, A978A) utmärker sig med jämförelsevis hög MnO och låg Ba. Dessa skillnader tyder på olika malmer. Slaggar från en vendeltida järnframställning vid en boplats i Västra Via, Vintrosa socken visas också då de följer samma trend som många av slaggerna från Fjugesta. En grå linje med flack lutning är skissad som alternativ teoretisk koppling mellan A978A och slaggar med låga halter, men A978A avviker även i övrigt i kemisk sammansättning varför denna koppling är mindre trolig.

Enbart med utgångspunkt i dessa få ämnen finns det tecken som tyder på att det är flera, åtminstone tre, olika malmkällor som har använts på blästplatsen i Fjugesta. Deras innehåll av sällsynta jordartsmetaller uppvisar visserligen också en viss spridning, men mer begränsad. Det innebär att malmer kan härledas till samma berggrundsgeologiska miljö och följaktligen härrör från ett begränsat geografiskt område.

Hela datasetet med huvudämnen (förutom de dominerande järn och kisel) samt de flesta spårämnena genomgick också en multivariat statistisk utvärdering. Inledningsvis gjordes en klassifikation och PCA-analys för att hitta likheter som kan gruppera slagger, och vilka ämnen som är de mest särskiljande, samt en ordination av utfallet för att testa om grupperingen är relevant. Utfallet från klassifikationen i 5 grupper diskuteras mer ingående i bilaga 2E och deras rumsliga fördelning ses på planen över området (fig. 22). Slaggerna är endast elva stycken och fem grupper har definierats, vilket kan tyckas vara alltför många grupper. I grupp 1 återfinns två slagger (A847 och A1392) som inbördes är lika främst vad gäller spårämnena, men delvis skiljer sig vad gäller t.ex. aluminiumhalten. Två av grupperna (grupp 2 och 3) med tre respektive fyra slagger vardera visar också en del likheter och skulle kunna utgöra en större grupp (med större variation i kaliumhalt). Två slagger (A1096 och A1335) utgör varsin grupp (grupp 4 och 5). De avviker från de andra på många punkter bl.a. högre absoluta halter av några ämnen (t.ex. mangan i båda, och fosfor i A1335). Men om man också betraktar det inbördes förhållandet mellan vissa ämnen, som mangan och barium (se ovan) och tar hänsyn till naturliga, geologiska variationer kan de vara mera lika än vid första anblick och enbart representera ytterpunkter i variationen inom samma myr.

VARIATIONER I PROCESS

Det arkeometallurgiska materialet visar som helhet att det är samma typ av järnframställningsteknik i blästugn med underliggande slagguppsamlingsgrop som har ägt rum. Myrmalm och träkol har satts upp i de likartade lerbyggda schaktugnarna men framställningsprocessen har skett på lite olika sätt i ugnarna på platsen.

FYLLNING I SLAGGUPPSAMLINGSUTRYMMET

Olika detaljer i konstruktion och process ses bland annat i de olika avtrycken från slaggavskiljningsmaterial. Sannolikt har träkol använts som bränsle (avtryck i slagger från bl.a. A882, A937, A978, A1313, A1375, A1402 och A1420), men avtryck av ved i slagger från några ugnar (t.ex. A865, A913, A988, A1042, A1096, A1313, A1328, A1335, A1358, A1376 och A1340) respektive knippen av långsmala strån (framträdande i A945 och i mindre omfattning från A847 och A1392) tyder på att slagguppsamlingsgropen har fyllts med olika typer av material.

Slaggerna från framförallt A945 (och i mindre omfattning från A847 och A1392) har avtryck av tätt liggande parallella (fig. 10D och 13), strån (knippen av gräs/vass/tåg?). En av dessa slagger har analyserats av kvartärgeolog J. Heimdahl (Bilaga 2F, fig. 2F:1) för att avgöra om avtrycken kan användas för att identifiera vilken växt det rör sig om. Enligt analysen förekommer rundade strån av olika slag där de flesta har en diameter på ca 1 mm. Ytan är strierad (långa parallella "ränder"). Det kan vara strån från mindre gräsarter, men eftersom inga noder har noterats kan det också vara halvgräs. Heimdahl föreslår småsäv

och skogssäv som möjliga alternativ. Men, en stor grupp örter kan vara tänkbara. Eftersom det finns inbördes olikheter är det troligt att det är flera arter, en variation som också är typisk för hö. Enligt Heimdahl (uppgift i mail 23-12-08) är både småsäv och skogsäv vanligt inslag i slåtter och betesmark och förekommer ofta i stor mängd i hö. Stråna ligger parallellt, huvudsakligen i en riktning i studerade slaggar från A945 men i några större slaggar kan man se två riktningar (rät vinkel mot varandra).

Analysresultaten om att det rör sig om flera arter, och att sådan variation är vanlig i hö leder till diskussion kring om det är det torkade materialet som har använts och hur detta i så fall uppför sig i slagguppsamlingsgropen när den varma slaggen sipprar ner bland stråna, och i vilken mån de kan bevara sin form och inte förbrännas (i en reducerande miljö?). Alternativet att det rör sig om färskt material, som har tagits mer eller mindre direkt från växtplatsen och placerats i slagguppsamlingsgropen bör också övervägas. Utifrån ett rent logiskt resonemang, men utan konkret stöd i experiment, vill vi tro att färskt material skulle hålla formen längre innan det förkolnas och således skulle fungera bättre som avskiljare. I dessa slaggar ser man vid tunnslipsanalyserna tydligt i mikroskala hur slaggen är snabbt avkyld i direktkontakt med strån, varför dessa strån i viss mån har påverkat slaggen. Enligt Heimdahl kan man också se ett förkolnat skikt som rest från några av stråna. Huruvida det är från ett torrt, eller färskt material är oklart.

Anledningen till fyllning, oavsett material, i slaggruppen är inte helt klarlagd, men det har diskuterats att det har fungerat som en sorts filter för att förhindra att malm och träkol, i det ovanliggande ugnsschaktet, ska rasa ned i slagguppsamlingsgropen. Förekomst av gräs eller liknande är tämligen ovanligt i tidigare undersökta blästugnar i Sverige, även om det har noterats på ett fåtal platser. Ett närliggande exempel på detta finns i Närke, från en undersökt blästugn i Stomskil i Lillkyrka (Englund & Larsson 1999, Westin 2003). Enligt en studie av dansk järnframställning, var det dock vanligare att färsk halm, strån av råg eller korn, lades i slagguppsamlingsgropen (Henriksen Steen 2003).

Det har också föreslagits att ved har använts för att skapa hålrum i slaggen, speciellt för att större (flera 100 kilogram) bottenslaggar lättare kan tas ur gropen när den töms före efterföljande körningar. Exempel på detta har beskrivits bl.a. från Gästrikland där bottenslaggerna vägde flera hundra kilogram (Hjärthner-Holdar m.fl. 2014, se också Hjärthner-Holdar m.fl. 2018). Oavsett vilken funktion som fyllningen har haft, förekommer olika varianter inom blästplatsen i Fjugesta.

SNABB AVKYLNING I SLAGGUPPSAMLINGSGROP

Slaggmängden som fanns kvar i de undersökta ugnarna (slagguppsamlingsgrop) varierar från några 100 gram till som mest nästan 30 kilogram. Det är oklart om dessa nästan 30 kilogram (t.ex. 29 kilogram i A945 och 27 kilogram i A1096) representerar den totala slaggmängden från en körning i ugnen, eller



Fig. 13. Slagger från ugn A945 med avtryck efter tätt liggande parallella strån. De nedre bilderna visar detalj på de tunna avtrycken (se bilaga 2F) med tydlig striering (långsmala parallella linjer).

om större mängder har bildats och det endast är en andel som är kvar. Dessa ugnar med mest slagg, är de som också är vidast (0,9 resp. 0,7 m i diameter) och djupast (0,35 resp. 0,45 m) (se fig. 2). Med tanke på den stora dominansen av småslagger förefaller det dock inte som om några stora bottenslagger har bildats och fyllt ut slagguppsamlingsutrymmet. Dessa småslagger, alltifrån droppformade och små tunna stearinformade strängar till knytnävsstora bitar som är uppbyggda av många tunna slaggsträngar är vanliga inslag. Dessa småslagger har stelnat tämligen hastigt, innan efterföljande slaggflöde har runnit ner i utrymmet. Dessa portioner av slagg med mellanliggande avkylning ses bland annat på några slagger som har tydliga avtryck från en tidigare bildad slagg (fig. 14). Den mer eller mindre omedelbara avkylningen ses också i mikroskala (fig. 15) i de flesta analyserade slaggerna; visserligen är varje slaggsträng finkornig, men kontaktytorna är allra finkornigast och antyder att när varje ny slaggsträng har runnit fram, har den äldre slaggen redan hunnit kylas av och stelna.



Fig. 14. A865. Tunna, platta, slaggsträngar. Undersidan av slaggen till höger har stelnt mot en tidigare avkyld slagg som har lämnat avtryck.

Bland slaggerna från Fjugesta är det endast från ett fåtal ugnar (Bilaga 2B, tab. 2:1) som det finns slaggar som har stelnt som en mer sammanhängande slaggvolymer och som har hållit värmen en något längre stund. En av dem, som också har analyserats, är från A1335 (fig. 11). Där har slaggen stelnt mot en begränsande yta (stenar i väggen – se om konstruktionen ovan) där tunnare strängar finns i direkt kontakt med stenarna, men bara någon centimeter från kontakten med stenen visar detaljerade analyser i mikroskop att slaggen är betydligt grovkornigare till följd av långsammare avkylning (fig. 16). Men, inte heller i detta fall rör det sig om några omfattande slaggmängder som har runnit ner i utrymmet utan snarare små rännilar som successivt har byggt upp en större slagg. Detta speglar också processen på högre nivå i ugnen där malmen succesivt rör sig ned genom schaktet och reduceras till metall. Malmen tillsattes visserligen portionsvis, sannolikt under en längre tid (oklart hur lång), men med tanke på de mindre mängderna slagg som bildades kontinuerligt förefaller malmportionerna att ha varit relativt små. Detta påverkar också den totala mängden metall som tillverkades, men för framställningen på denna plats finns för många osäkra förhållanden för att man med säkerhet ska kunna ge någon rättvisande uppskattning om detta. Järnframställningsprocessen måste i vilket fall som helst ha avbrutits när det inte fanns plats för mer slagg.

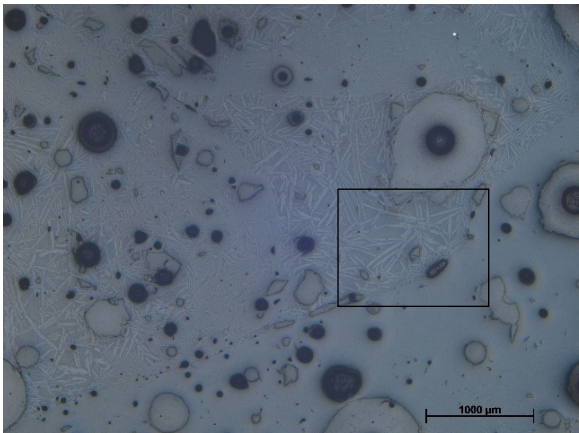
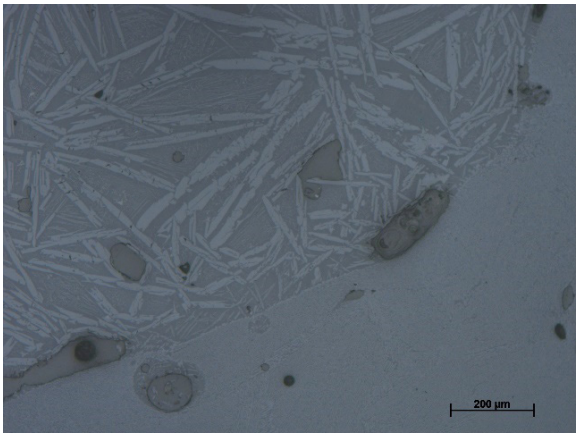
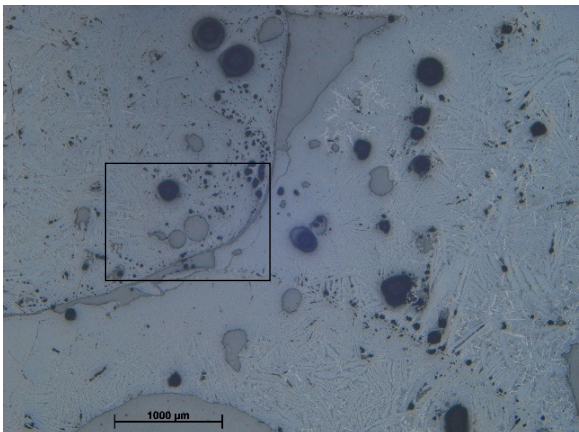
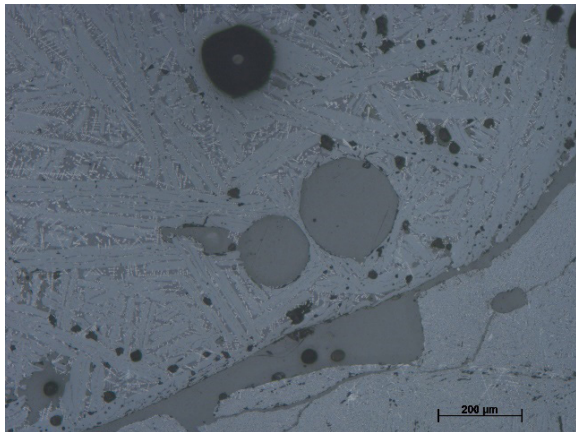
Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
882A1 Ol,gl, Fin- kornig		
1096A Ol,wü		

Fig. 15. Utdrag ur Fig. 2C:13 (bilaga 2C). Mikrofoton på analyserade slaggar från A882 och A1096 med förekomst av: Ol= olivin, gl= glas, hc = hercynit. Grå och svarta fläckar är hålrum. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses kontakten mellan två, resp. tre slaggflöden med hjälp av olika kornstorlekar. Till höger en detaljbild från rutan i översiktsbilden som visar ljus grå långsmala olivinkristaller i omgivande mörkare grå glasfas.

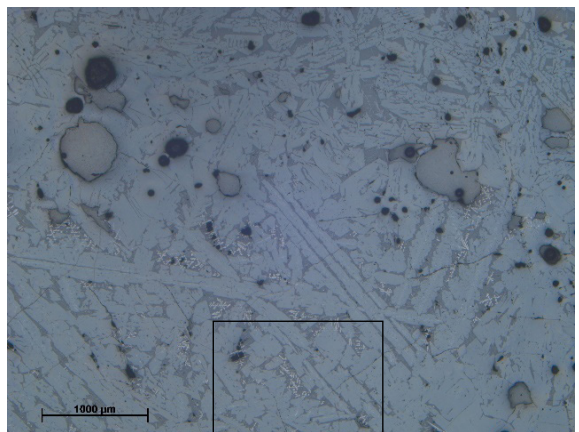
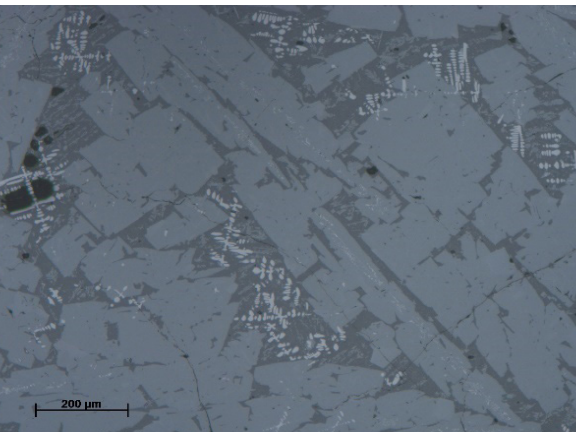
Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
1335A Ol, gl, (wü)		

Fig. 16. Utdrag ur Fig. 2C:13 (bilaga 2C). Mikrofoton på analyserad slagg från A1335. med förekomst av: Ol = olivin (ljus grå), gl= glas (mörkt grå), wü = wüstit (ljus). Grå och svarta fläckar är hålrum. Till vänster en översiktsbild. Där ses ett större homogent slaggflöde (grovkornigare än de flesta andra). Till höger en detaljbild från rutan i översiktsbilden som också tydligt visar att slaggen är grovkornigare än många andra (se föregående figur) och dessutom innehåller wüstit.

Med utgångspunkt i de detaljerade analyserna i mikroskop i kombination med resultaten från de kemiska analyserna kunde vi också jämföra slaggernas färg med sammansättning och kornstorlek (fig. 15, 16 och bilaga 2C; fig. 2C:13). Eftersom de flesta slaggerna är likartat finkorniga kan inte de ljusa färgnyanserna hos slaggerna knytas till hastigare avkylning. Det är snarare sammansättningen på slaggen som ger upphov till färgskillnaderna. Högre kiselhalt (och lägre järnhalt) ger generellt en ljusare färg, och tvärtom lägre kiselhalt (och högre järnhalt) en mörkare färg. De mörkaste slaggerna (förutom något undantag) uppvisar dessutom i linje med detta, en mineralsammansättning med förekomst av järnoxiden wüstit, som saknas i slaggerna med lägre total järnhalt (se de totalkemiska analyserna bilaga 2E). Denna observation leder till slutsatsen att slaggerna är bildade på likartat sätt, oavsett färg, och att färgen främst speglar deras sammansättning.

BRÄNSLEÅTGÅNG

Flera av slaggerna från blästplatsen i Fjugesta har högre aluminiumhalter än merparten av slaggerna från järnålderns svenska blästugnar, även de i Närke. Flera av dem har också relativt låg järn- och hög kiselhalt (Bilaga 2E; fig. 2E:1-3). Aluminium skulle kunna komma från inblandning av smält ugnsväggslera men detta förväntas också ge ett högre kaliuminnehåll, något som inte ses i dessa slaggar. Den högre aluminiumhalten speglas också i slaggernas mineralsammansättning där olivin (med järn, kisel och syre) förekommer tillsammans med hercynit (innehåller järn, aluminium och syre); vanligare är att olivin förekommer tillsammans med wüstit (innehåller järn och syre). Förekomsten av dessa båda olika kombinationer och hur det påverkar processen har berörts i flera studier (Charlton m.fl. 2010 och referenser däri; se bilaga 2E, fig. 2E:4). Det är till stor del malmen som avgör slaggens sammansättning och vilka mineral som bildas men den kan också påverkas av bränslemängden. En större andel bränsle i förhållande till malm ger mer reducerande förhållande och medför att en större andel av malmens järn blir metall. Det innebär en lägre andel järn (t.ex. mindre andel järnoxider) i slaggen och en högre andel av t.ex. kisel och aluminium. Samtidigt blir dock slaggerna mer trögflytande vilket kan sätta igen ugnarna och försämra processen som helhet. Lägre andel bränsle ger mindre reducerande förhållanden, en förväntat lägre kolhalt i metallen, men mer lättflutna (runna) slaggar. Slaggerna från Fjugesta är generellt tämligen lättflutna, om än i små strängar, vilket också talar för denna process.

UGNSVÄGGARNAS ANVÄNDNINGSSPÅR

De sintrade till förglasade insidorna på schaktfragmenten från Fjugestaugnarerna är ett lika allmänt fenomen som de bevarade utsidorna är särskiljande för platsen. Tjockleken på den förglasade zonen varierar en hel del – upp till 3–5 cm på några fragment från ugn A1375 (fig. 17). Det kan betyda att just denna

ugn användes flera gånger än de där den förglasade zonen bara är 1–2 cm bred. Detta har vi ännu inte några tydliga bedömningskriterier för. Det vi vet med säkerhet är att förglasningen uppstår från körning nummer två där metallrester som trängt in i schaktinsidans yta flussar leran till en lägre smälttemperatur.



Fig. 17. Foton av kapad ugnsvägg från F1530, ugn A1375.

Pågående försök med blästugnar vid Nya Lapphyttan visar dessutom att schaktet blir ständigt mera stabilt vid succesiva körningar utan besvärande skador på insidan (E. Hjärthner-Holdar, pers. medd.). Detta beror såklart även på vilken lera det rör sig om samt processtemperatur och sannolikt även processlängd. Eftersom vi ännu inte lyckats få fram någon rimligt säker relation vittnar de förglasade zonerna enbart om att schakten använts för minst två körningar.

Det har inte observerats några spår efter reparationer av Fjugestaskaktens insidor vilket indikerar att antalet körningar per schakt trots allt varit begränsat. Reparationer är vanligt förekommande på ugnar från hela järnåldern i Sverige (Stilborg 2023a; OBS dubbla på ugn i Vivungi, Lappland) och frånvaron av sådana på Fjugestas blästplats är ett ganska tydligt tecken på att reparation ansågs vara ett större besvär än att hämta nära befintlig lera till ett nytt schakt.

DET TILLVERKADE JÄRNET

I slaggmaterialet förekommer trögflutna, rostiga klumpar i mindre omfattning. En del av dessa är magnetiska vilket antyder att de kan innehålla en del metalliskt järn (fig. 18 och 20). Många av dessa delades, men endast ett fåtal innehöll järn. Avsaknaden av järn är visserligen bra ur produktionssynpunkt som ett tecken på att det mesta av den metall som har framställts har tagits tillvara. Det innebär dock att det är svårt att hitta metall att analysera för att få en inblick i vilken typ av järn som tillverkades. Några små bitar kan ändå ge oss en idé om produktionen.

Från ett fåtal av ugnarna finns några oregelbundna klumpar, endast några centimeter stora, som vid delning visade sig innehålla metalliskt järn. De innehåller även en del hålrum och innesluten slagg. Slagginneslutningarna med sin rundade eller oregelbundna form tyder på att järnet inte har bearbetats efter att det framställdes utan klumparna har gått förlorade direkt i ugnen eller när man tog upp järnluppen för att slå samman den. Den grovkorniga textur som kan ses i metallen (i den metallografiska analysen) är ytterligare tecken på att järnet inte har bearbetats efter det framställdes i ugnen.

Bland de få undersökta metallklumparna finns två olika typer av metall. Den ena är ett kolfritt (eller lågkolhaltigt) mjukt, smidbart järn (fig. 19), och den andra typen är gjutjärn (fig. 21), dvs. järn med högre kolhalt som inte är direkt smidbart. Varken stål (kolförande järn) eller fosforjärn har noterats bland metallklumparna.



Fig. 18. Prov A1096C, en av de större magnetiska klumparna som innehåller metalliskt järn.

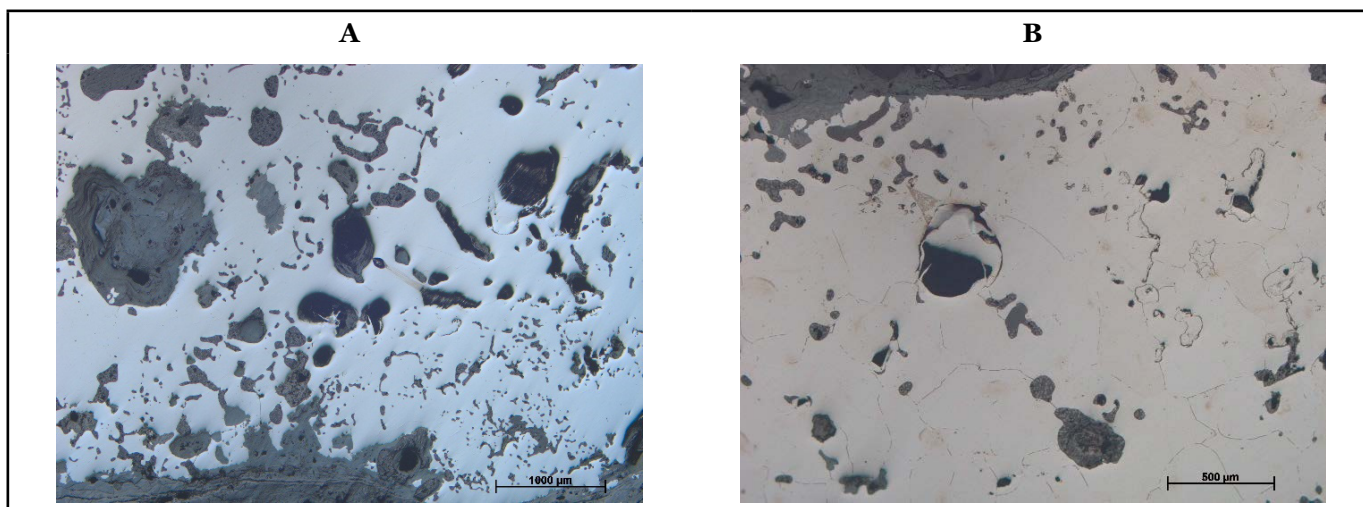


Fig. 19. Foton från mikroskopet på det polerade provet 1096C. A: metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (mörkt grå), rost (flammigt grå) och oregelbundet formade slagginneslutningar B: detalj på järnet som efter etsning av den polerade ytan som visar en textur med ferritkorn (fält i ljus bruna nyanser) med linjer i kornkontaktarna, dvs. kolfattigt järn.

Det mjuka, kolfria järnet kommer från ugnarna A1096 och A1402, medan klumparna av gjutjärn påträffades i A978 och A1430.

Att såväl kolfritt, mjukt järn som hårdare stål (järn med högre kolhalt), som båda är smidbara påträffas bland produkterna från blästugnar är vanligt på många järnframställningsplatser. Stål har dock inte noterats från järnframställningen i Fjugesta, mer än fläckvis i några små klumpar. Järn med ännu högre kolhalt, som i gjutjärn, som observerats i Fjugesta är dock mer sällsynta och ett sådant järn måste avkolas (färskas) innan det kan smidas vidare, något som var standard för det mer sentida tackjärnet från masugnen. Förekomsten av gjutjärn ska dock sannolikt inte ses om att det var den planerade produkten, utan kan vara en bieffekt när man har framställt stål. Det är inte alltför ovanligt att se mindre mängder gjutjärn från blästugnar, oftast i direkt anslutning till kolstycken där en lokal uppkolning har skett, eller i något större klumpar som i övrigt är stål. Stål bildas, något förenklat, bl.a. vid högre temperatur i ugnen än vad det kolfria järnet gör. Av den anledningen kan förekomsten av gjutjärn också vara ett tecken på att ugnen har körts vid sådan förhållanden som har krävts för att få stål, men att man samtidigt också lokalt har fått en högre kolhalt än förväntat. I detta fall kan det vara något man har accepterat för att säkerställa att man varit på rätt nivå i processen för att få stål.



Fig. 20. Små magnetiska klumpar med metalliskt järn från ugnen A1430. De två till vänster är analyserade (prov A1430C1 och C2).

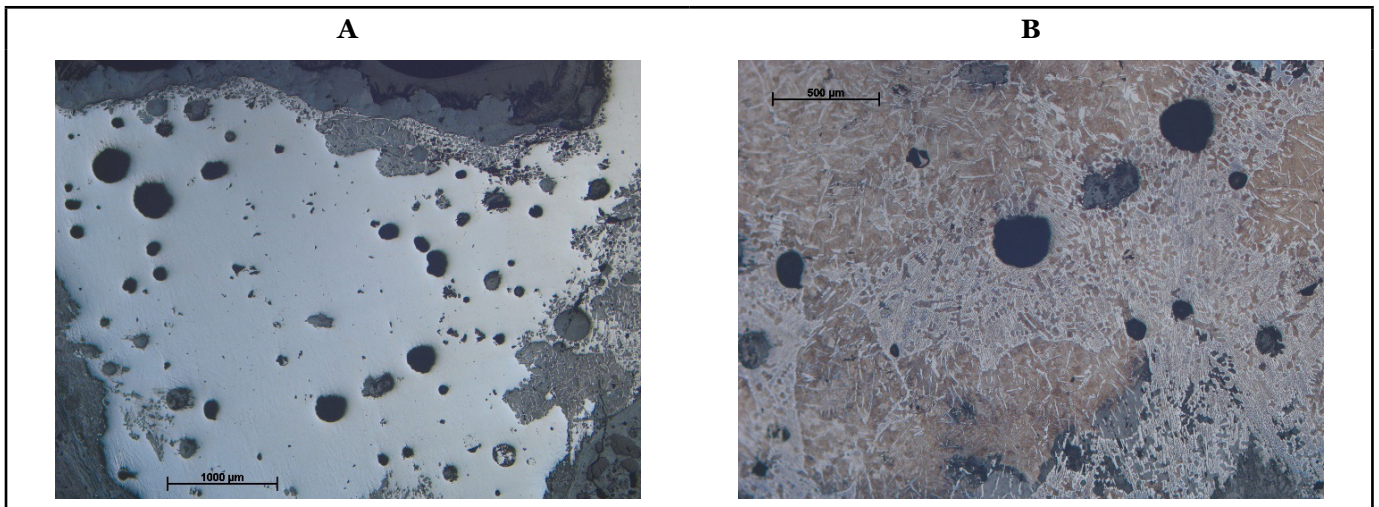


Fig. 21. Foton från mikroskopet på det polerade provet 1430C1. A: metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (svart och mörkt grå), rost (flammigt grå). B: detalj på järnet som efter etsning av den polerade ytan visar en textur som tyder på stål med hög kolhalt, med bruna fält av perlit, med ljusa lameller av cementit. Ljusare områden är gjutjärn.

Kolupptaget i metallen underlättas också av manganinnehåll i malmen (se bilaga 2). I det arkeometallurgiska materialet från Fjugesta kunde vi inte hitta någon malm, men indirekt är det möjligt att spåra manganinnehållet i malmen med hjälp av slaggerna. Merparten av slaggerna från Fjugesta har en tämligen låg manganhalt (<1,3 % MnO). Fem av dem (A847A, A882A1, A970A, A1367A och A1392A) har dessutom de lägsta halter som har noterats i tidigare analyser av slaggar från Närke. Två slaggar har dock något högre manganhalt, den ena är A978A (med gjutjärnsförekomst från samma ugn) och den andra är A1335A (3–4 % MnO). Jämfört med slaggar från andra delar av Närke är detta dock också tämligen lågt (exempel på över 20% förekommer) varför det här inte är uppenbart att det är en hög manganhalt i malmen som har skapat den högre kolhalten i metallen.

En liten, ca 20 mm lång, något droppformad, men platt järnbit på totalt 1,4 gram som påträffades vid ett intilliggande boplatsoområde har också analyserats för att se om den kan knytas till den aktuella järnframställningsplatsen. Det är dock oklart om de är samtida. Järnbitens yttre former såväl som den metallografiska analysen antyder att den har varit smält vilket snarare kopplar den till mer sentida produktion. Det finns därmed inget som knyter samman boplatssfyndet med tillverkningen vid järnframställningsplatsen.

SAMMANFATTNING och DISKUSSION

av det arkeometallurgiska fyndmaterialet

Ugnsväggar

Registrering och analyser visar tillsammans att de undersökta Fjugesta-ugnarna har byggts av lera från samma ställe och sannolikt från en täkt inom den närliggande isälvsavlagringen. När det gäller byggnationen i övrigt finns det vissa skillnader varav användningen av kilformade "spån" nära eller infällda i ytan på schaktet kan vara en senare utveckling. Även i vad som horisontalstratigrafiskt skulle kunna vara äldre ugnar nära den centrala(?) kolningsgropen förekommer dock pinnar som suttit i samma ytliga läge i schaktkonstruktionen. Just denna placering kan (tillsammans med spånen) vara ett unikt drag för Fjugesta-platsen men det kan också vara en källkritisk fråga i och med att järnframställningsugnar nästan aldrig är bevarade som de är här på Fjugesta. På äldre, romartida små ugnar utgrävda vid Ledsjö, i Västergötland, finns spår av flätverk med liknande spån på insidan, där flätverket har fungerat som en stabiliserande kärna (Forenius m.fl. 2008; Stilborg 2023a). Det är svårt att förstå den tekniska funktionen av de ytligt placerade konstruktionsdetaljerna på Fjugesta-ugnarna.

Sammanfattningsvis ger den keramiska delen av fyndmaterialet från platsen bilden av en mycket väl organiserad verksamhet som möjligen har en nära tillgång till lera att tacka (åtminstone delvis) för sin placering. Det finns tydliga gemensamma teknologiska drag i byggnationen och användningen av schakten (till exempel frånvaron av reparationer) samtidigt som vissa variationer tyder på mindre förändringar över tid.

Slagger

Slaggerna från de undersökta ugnarna uppvisar flera gemensamma drag, men det finns även skillnader som tyder på att olika malmer har använts liksom att ugnarna har körts på lite olika sätt. Eventuellt har processen behövt anpassas efter malmens egenskaper, eller för att optimera bränsleåtgången. Det är oklart om dessa justeringar har varit en förändring över tid eller om det har skett en anpassning vid varje tillfälle. Malmer har inte påträffats alls i materialet och endast ytterst sparsamt med metalliskt järn varför det är slaggerna som har bidragit med kunskap om hela processkedjan. Det har varit en utmaning att urskilja de pusselbitar som främst kan kopplas till malmen och de som kan knytas till processen – vissa ämnen kan dessutom påverkas av flera källor och komma från malm, bränsle och ugnsvägg. Påverkan från smält ugnsvägg har dock visat sig vara minimal.

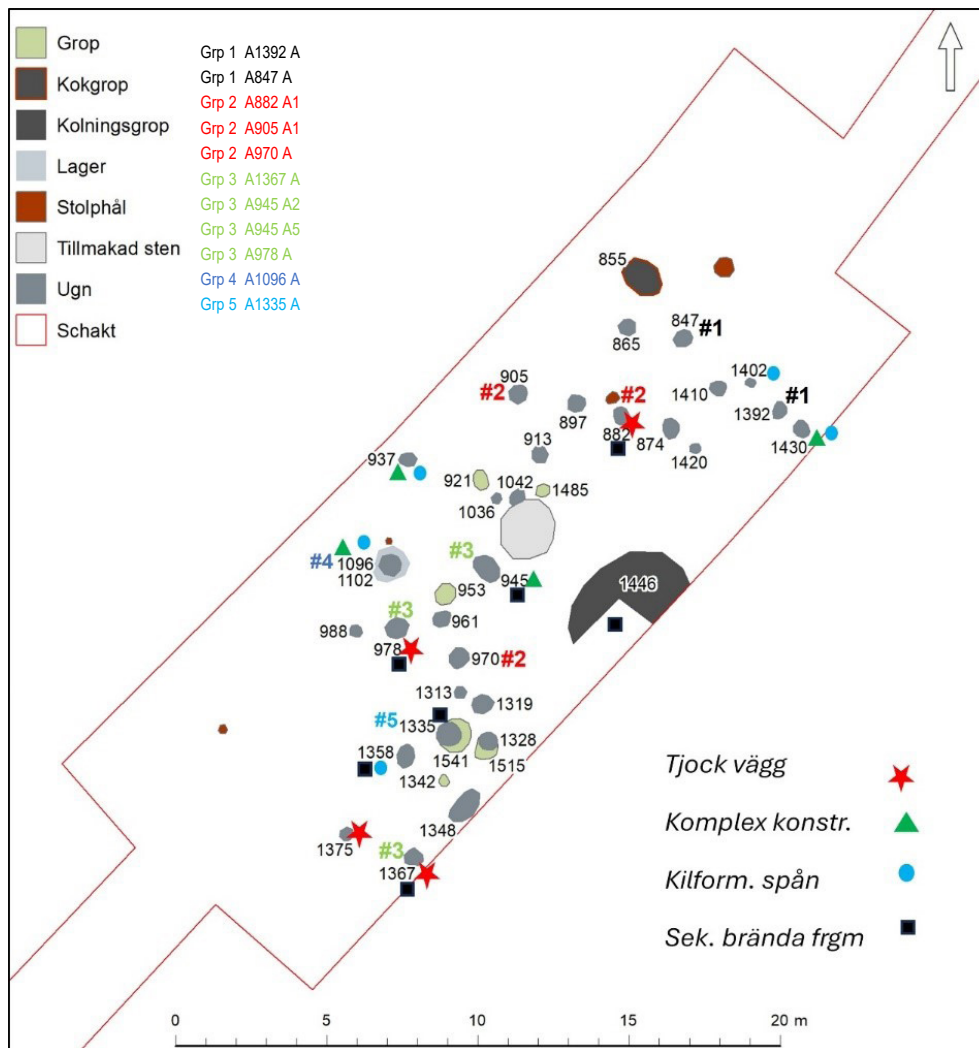


Fig. 22. Plan över den utgrävda delen av blästplatsen vid Fjugesta (N. Balknäs del.). Utbyggd från fig.9 med markeringar av förekomst av olika karakteristika för ugnsväggsfynden i olika ugnrester (O. Stilborg). Här med de grupper (#1–#5) som definierats från slaggernas kemiska sammansättning.

Rumslig placering, råvara och teknik

Slagger, precis som ugnsväggar uppvisar karaktäristiska drag som förekommer i flera delområden på blästplatsen, i relation till den stora kolningsgropen. Med utgångspunkt i analysresultaten har vi försökt se om det finns någon koppling mellan använda malmer, fyllnadsmaterial i slagguppsamlingsutrymmet eller annat som är relaterat till rumslig placering (fig. 22). Vid en första anblick verkar det snarare vara en slumpmässig fördelning av olika komponenter. Det saknas tydliga tecken på att angränsande ugnar har körts på samma malm. Detta skulle kunna vara ett tecken på att de som är närmast angränsande inte har varit i drift samtidigt, möjligen på grund av utrymmesbrist. Även om grupper inte entydigt kan särskiljas vad gäller råvaruanvändning eller teknik i processen i förhållande till placering, kan några exempel belysas.

OLIKA MALM MEN SAMMA TEKNIK

Ugn A945, placerad centralt på området, nära kolningsgropen, utmärker sig på många sätt. Ugnen är en av fyra ugnar på området som uppvisar en komplex uppbyggnad med kombinationer av flera konstruktionselement – exempelvis pinnar, spån och yttre stöd(ram?) (se ovan och Bilaga 1B). Slaggerna med sina markanta stråvtryck, troligen från någon våtmarksväxt (Bilaga 2F), är sällsynta; endast i ett fåtal andra ugnar finns tecken på att samma typ av fyllnads-material har använts i slagguppsamlingsgropen. En av dem är A847, längre norrut, i utkanten av området. Två slaggar med olika färg och form har analyserats från A945. Dessa är inte identiska men inbördes mycket lika vad gäller huvudämnen (andra än järn och kisel) och spårämnen, varför det är rimligt att de små skillnader som finns speglar variationen inom en och samma körning – med samma malm (eller samma mix av malmer). Slagg från den andra ugnen med samma typ av stråvtryck, A847, skiljer sig dock från slaggerna i A945, och tyder på användning av annan malm. Här kan vi spekulera i om de båda ugnarna har körts vid samma tillfälle, fyllts med samma typ av knippen av strån, men att olika malmer har använts. I så fall kan det vara en indikation på att flera aktörer har samlats på platsen, men haft med sig egen råvara. Dessvärre är det oklart hur ugn A847 var konstruerad då det fanns endast ca 30 gram bevarad ugnsvägg (Bilaga 1C).

SAMMA MALM MEN OLIKA TEKNIK

Slaggerna från A945 uppvisar större kemiska likheter med de från A1367 (i områdets utkant längst i söder, fig. 22). Slaggerna från A1367 har vedavtryck och en del tunna platta spånliknande avtryck, eventuellt av samma typ av material som finns som avtryck bl.a. i ugnsväggen till A1096 och A945. Slagguppsamlingsutrymmet har därmed fyllts upp med annat material än knippen av strån som i A945. I dessa båda ugnar kan således likartade malmer ha använts men ugnarna har förberetts på olika sätt inför körningen. I den relativt tjocka lerväggen från A1367 finns avtryck efter pinnar som en del i konstruktionen. Flera av ugnsväggsfragmenten är högt brända och med tjocka förglasade zoner som tyder på att ugnen har använts flera gånger (Bilaga 1C). Slaggen bör dock vara kvarlämnad från den sista körningen.

I den andra ugnen där knippen av strån har använts, A847, visar slaggen mer kemisk likhet med slagg från A1392 (också i områdets norra utkant, strax öster om A847, fig. 22) vad gäller proportionerna mellan flera spårämnen och de låga halterna av mangan och barium (fig. 12). Det finns dock också en stor skillnad mellan slaggerna från ugnarna. Slagg A1392A har en ovanligt hög aluminiumhalt (och motsvarande lägre kiselhalt), en skillnad som tyder på att ytterligare något i råvara eller process är avvikande. Något som återkommer i andra slaggar.

Från A1392 fanns inte någon ugnsvägg bevarad och de ca 30 gram fragment från A847 (Bilaga 1C) gör att det är oklart hur dessa ugnar var byggda.

Hushållning med bränslet

Sammansättningen för många av de nu analyserade slaggerna har visat sig ligga nära den sammansättning som teoretiskt anses kräva förhållandevis lite energi, dvs. låg bränsleåtgång. Även om den större kolningsgropen har funnits tillgänglig centralt i området kan det ha varit fördelaktigt att hushålla med bränslet och inte använda mer kol än nödvändigt.

Utifrån detta resonemang kan man spekulera i om fyllningen med annat än ved/kol i slagguppsamlingsutrymmet kan ha handlat om att inte slösa med ved/kol. Så länge fyllnadsmaterialet hindrar pelaren av kol och malm att rasa ner i slagguppsamlingsutrymmet under processen och efter avslutad körning underlättar sönderdelning och utplockning av slaggen kanske det är av mindre betydelse vad man väljer för fyllning.

Järnet

Endast mycket sparsamt med järn har noterats bland slaggerna. Denna avsaknad av järn är bra ur produktionssynpunkt och tyder på att det mesta av den metall som har framställts har tagits tillvara. Bland de få metallklumparna finns (minst) två olika typer av metall. Den ena är ett kolfritt (eller lågkolhaltigt) mjukt, smidbart järn och den andra är gjutjärn, dvs. järn med hög kolhalt. De små klumparna visar också tydligt att järnet inte har bearbetats efter att det framställdes utan klumparna har gått förlorade direkt i ugnen eller när man tog upp järnluppen för att slå samman den. Det finns därmed inga tecken på någon fortsatt bearbetning eller smide på platsen. Huruvida det tillverkade järnet bearbetades av respektive järnframställare på olika platser, eller om någon gemensam efterbearbetning ägde rum kan materialet dessvärre inte ge svar på.

Kol, malm och lera som del i organisationen

Kolningsgropen har inte berörts specifikt i denna studie men finns ändå med som en central plats för järnframställningen, om än lite missvisande anonym. Men, den har sannolikt utgjort en samlande punkt. Bränslet, dvs. kolet är en av de viktiga råvarorna för järnframställningen, malmen en annan och leran till ugnarna en tredje. Som analyserna av både ugnsväggar och slagger har visat finns en variation på platsen. När det gäller ugnarnas konstruktion finns det en grundläggande gemensam teknologi kännetecknad genom val av samma lera och den möjligen platsspecifika seden att bränna schakten innan de togs i användning. Med denna teknologi som bas har man sen (över tid?) varierat detaljer i konstruktionen som stödjande pinnar/spån och stolpar.

Några av ugnarna är sannolikt körda på malm från samma område/myr. Vi kan också spekulera kring att malmer som har tagits upp vid flera skilda tillfällen har rostats (på annan plats?) och blandats, något som skulle kunna upptäckas om malmerna har specifika signaturer. Bland spårämnen som har

analyserats ingår bl.a. de sällsynta jordartsmetallerna vilka, även om de visar viss variation, antyder att det är malmer från likartad geologisk miljö – inga referensmalmer i närområdet har dock provtagits. Men, förekomsten av andra ämnen som mangan och barium i olika proportioner, antyder att det kan röra sig om flera separata myrar. Kvoterna mellan dess ämnen antyder vidare att flera ugnar kan ha körts på malm från samma område. Några av dem uppvisar också likheter med en vendeltida järnframställningsplats i Västra Via, i Vintrosa (Willim m.fl. 2006, Sundkvist 2010). Dessa båda är de västligaste utposterna bland tidigare undersökta blästplatser i Närke och skiljer sig från många av dem som ligger på slättområdena längre öster- och söderut. Bland slaggerna från Fjugesta finns det också några kemiska signaturer som inte har identifierats vid tidigare analyser. Här kan vi i dagsläget bara spekulera kring möjligheten att järnframställarna kom från områden som inte har lämnat avtryck i det kända materialet, samtidigt som det är möjligt att de som har framställt järn i några av de andra ugnarna vid Fjugesta har sökt malm i samma områden som de från en vendeltida boplatsanknuten järnframställningsplats i Västra Via.

Placeringen och fördelningen av ugnar, med såväl likheter som skillnader visar på en övergripande enhetlighet men med variation. Det rör sig dessutom om en återkommande verksamhet, men oklart under hur lång tidsperiod även om den förefaller ha varit begränsad. Det är intressant att dra paralleller till senare tiders bergsbruk och hyttor och den övergripande organisation som dessa mer storskaliga verksamheter innebar. Vid blästplatsen i Fjugesta finns tecken på att en liknande organisation, där järnframställarna gemensamt äger anläggningen för förädlingen av deras respektive råmaterial, kan ha funnits redan för blästjärnstillverkningen.

Återkoppling till frågeställningarna

De frågeställningar som var utgångspunkt för analyserna har kunnat bemötas mer eller mindre detaljerat med utgångspunkt i de samlade analysresultaten. Placeringen och fördelningen av ugnar på det undersökta området tyder på en övergripande enhetlighet men med viss variation. Järnframställning har varit en återkommande verksamhet, men troligen under en begränsad tidsperiod. Ofta när skillnader noteras eftersöks (medvetna) orsaker till dessa. Det är sannolikt också ett mänskligt drag att söka systematik som kan knytas till utveckling över tid. Även för Fjugestas järnframställning har vi testat denna hypotes. Den rumsliga fördelningen av ugnar visar att flera av dem ligger för nära varandra för att ha varit i bruk samtidigt, men det har inte kunnat klarläggas hur många, eller vilka som kan ha körts vid samma tillfälle. Analysresultaten påvisar en komplex blandning av tekniska detaljer i ugnskonstruktion och fyllnadsmaterial i slaggruppen samt i slaggernas sammansättning, vilket speglar olika malmer. Men, trots att det mesta förefaller välordnat är helheten inte uppenbart systematiskt organiserad från dessa teknologiska perspektiv.

Är järnframställningsplatsen placerad intill råvara (malm/lera/ bränsle), bebyggelse eller är det annat som har varit avgörande?

Analysresultaten visar tydligt att en mycket god och riklig lokal lerförekomst har använts till samtliga ugnar. Denna råvara har varit åtminstone mycket viktig för placeringen av platsen. Tillgången på kolningsbar ved kan mycket väl också ha spelat en viktig roll som den centrala kolningsgruppen antyder.

Har järntillverkarna använt olika typer av malmer (med olika egenskaper) som har krävt olika detaljer i konstruktion och process för att man ska få järn? Eller är det kvalitet på järnet som efterfrågas?

Olika malmer har använts delvis med tydligt olika sammansättningar. Till exempel finns det skillnader i halten av mangan där en lagom hög halt underlättar framställningen av stål. Det finns dock inget som tyder på att manganrika malmer har varit speciellt eftersökta. De små fynden av järnfragment ger ingen tydlig bild av en speciell efterfrågad kvalitet. Det finns inga tydliga tecken på att ugnskonstruktion eller process har anpassats efter de olika malmsammansättningarna.

Har denna aktivitet ägt rum under en lång eller begränsad tidsperiod? Är det en storskalig verksamhet under en kort period, eller en mindre omfattande men återkommande?

De relativt få men överlappande ¹⁴C-dateringarna ger intrycket av en begränsad användningstid där flera ugnar kan ha varit använda samma säsong – några nybyggda och andra återanvända från tidigare säsonger. Nya ugnar verkar ha byggts nära platsen för äldre men då rivna ugnar.

Är gruppen av ugnar en sammanhängande enhet där de variationer som förekommer är resultat av utvecklingar/anpassningar över tid?

Det finns en tydlig gemensam grundteknologi för ugnarnas konstruktion – tydligast i valet av lera och sedan att bränna ugnsschakten innan de togs i användning. Därutöver finns olika tekniska detaljlösningar som vi tolkar som tillkomna över tid utifrån deras förekomst på olika delar av platsen.

Har alla ugnarna brukats av samma grupp av hantverkare? Men som av någon anledning har använt olika tekniska lösningar? Har olika järntillverkare haft tillgång till varsin mindre yta och byggt en viss ugnstyp med specifik teknik av hävd, och/eller för att malmen har krävt viss behandling?

En övergripande homogenitet i ugnsbygget samexisterar med en tydlig variation i malmernas sammansättning och sannolikt även proveniens samt variation i processteknologin. Detta kan tolkas som en tydlig strukturell organisering av platsen medan de grupper som tar fram malm och framställer järnet kommer dit från olika gårdar/byar i området. En sådan tolkning kan än så länge bara betraktas som en skiss för att förstå ett komplext sammanhang som Fjugesta är en av mycket få platser som belyser.

Har flera järnframställare samlats på en och samma plats, vid speciell tidpunkt, återkommande (jmf Brumlich 2020, p 148ff)? Har de samarbetat eller arbetat separat?

Tolkningsskissen stämmer väl överens med tolkningen av de tyska järnframställningslokalerna som presenteras i Brumlich 2020. Den andra delen av frågeställningen är en angelägen fråga att ställa men en som är mycket svår att besvara utifrån arkeologiskt källmaterial. Den observerade variationen i process ger emellertid inga tydliga tecken på något utbrett samarbete mellan grupperna – om inte just homogeniteten i ugnbyggnationen ska tas till intäkt för detta (i så fall på bekostnad av tolkningsskissen).

Vilken betydelse har den (centralt placerade?) kolningsgropen?

Flera olika hypoteser har testats kring vilken typ av organisation som är grund för hur olika aktörer har återkommit vid flera tillfällen (med samma malmer) till den samlade järnframställningsplatsen. En rimlig hypotes är att flera ugnar varit i drift samtidigt med gemensam tillgång till bränslet – kolet – vilket skulle tala för att kolningsgropens (centrala) placering varit av åtminstone funktionell betydelse.

REFERENSER

- Balknäs, N. 2023. *Järnframställning, boplats och gravar utmed väg 204, Fjugesta*. L1981:158 (hög), L2023:953 (möjlig fornlämning), L2023:954 (boplatsområde), L2023:955 (blästplats), Knista-Sanna 1:21, Lekebergs kommun, Närke. Arkeologisk förundersökning. Arkeologgruppen AB rapport 2023:40.
- Bennerhag, C., Grandin, L., Hjærtner-Holder, E., Stilborg, O. & Söderholm, K. 2021. Iron technology as an integrated part of hunting and gathering subsistence: Northern Fennoscandia in the Early Iron Age. *Antiquity* 2021. Vol 95 (384), 1511-1526.
- Brumlich, M. 2020. The Teltow – An Early Iron Smelting District of the Jastorf culture. In Brumlich, M. et al. eds 2020, *The Coming of Iron. The Beginnings of Iron Smelting in Central Europe*. Proceedings of the International Conference Freie Universität Berlin, Excellence Cluster 264 Topoi, 19-21 October 2017. Berliner Archäologische Forschungen 18, pp 127-154.
- Charlton, M.F., Crew, P., Rehren, Th. & Shennan, S.J. 2010. Explaining the evolution of ironmaking recipes – An example from northwest Wales. *Journal of Anthropological Archaeology* 29 (20110) 352–367.
- Devos, W., Senn-Luder, M., Moor, Ch. & Salter, Ch. 2000. *Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) for spatially resolved trace analysis of early-medieval archaeological iron finds*. Fresenius J Anal Chem (2000) 366 :873–880. Springer-Verlag.
- Dillmann Ph., Schwab, R., Bauvais, S., Brauns, M., Dissler, A., Leroy, S., Gassmann, G. & Fluzin, Ph. 2017. Circulation of iron products in the North-Alpine area during the end of the first Iron Age (6th-5th c. BC): A combination of chemical and isotopic approaches. *Journal of Archaeological Science* 87 (2017) 108–124. Elsevier.
- Englund, L. 2002. *Blästbruk. Myrjärnhanteringens förändringar i ett långtidsperspektiv*. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie nr. 40.
- Englund, L.-E. & Larsson, L. 1999. Romartida järnframställning i Stomskil – en arkeologisk och analytisk studie. Lillkyrka sn, Raä 219, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 1-1999*. Uppsala.
- Forenius, S., Grandin, L. & Stilborg, O. 2008. *Sjutiofem blästugnar i Ledsjö. Romartida järnframställning i boplatsmiljö*. Västergötland, Ledsjö sn. Fornlämning 150. UV-Uppsala rapport 2008:16. Riksantikvarieämbetet.
- Grandin, L. 2023. En järnframställningsplats vid Fjugesta. Specialregistrering av slagg Närke, Lekebergs kommun, Fjugesta, L1981:158. *Analysrapport 2023:05. Geoarkeologisk undersökning*. Statens historiska museer.
- Grandin, L. & Hjærtner-Holder, E. 2003. Högteknologisk järnframställning. Fanns det i Närke under järnåldern I: Karlenby, L. (red) *Mittens rike. Arkeologiska berättelser från Närke*. Riksantikvarieämbetet Arkeologiska undersökningar Skrifter 50. Stockholm, 391–424.
- Grandin, L. & Ogenhall, E. 2017. Järnframställning vid Varingen. Slagg och teknisk keramik från en järnframställningsplats. Örebro län, Närke, Örebro kommun, Ödeby socken, Ödeby-Berg 1:8, objekt 2. GAL RAPPORT 2017:03. *Geoarkeologisk undersökning. Statens historiska museer. Arkeologerna. Geoarkeologiskt Laboratorium*. Uppsala.

- Grandin, L. & Stilborg, O. 2022. Järnframställning i Stenkumla. Arkeometallurgisk analys av slagger och ugnsväggar. Fornlämning L2021:6090. Hallsbergs kommun, Örebro län. *Geoarkeologisk Analysrapport 2022:10. Geoarkeologisk undersökning. Statens historiska museer.*
- Helfert, M. 2013. Die portable energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (P-ED-RFA) - Studie zu methodischen und analytischen Grundlagen ihrer Anwendung in der archäologischen Keramik-forschung. I B. Ramminger, O. Stilborg & M. Helfert eds. *Naturwissenschaftliche Analysen vor- und frühgeschichtlicher Keramik III: Methoden, Anwendungsbereiche, Auswertungs-möglichkeiten.* Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 238, pp.13-47 Bonn.
- Henriksen Steen, P. 2003. Rye cultivation in the Danish Iron Age – Some new evidence from iron-smelting furnaces. I: *Vegetation History and Archeobotany* 12(3):177–185.
- Hjärthner-Holdar, E., Larsson, L., Englund, L-E., Lamm, K. & Stilborg, O. 1999. Järn- och metallhantering vid en stormannagård under yngre järnålder och tidig medeltid. Husby, Glanshammars sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 2-1999.* Uppsala.
- Hjärthner-Holdar, E., Forenius, S. & Willim, A. 2014. A Roman Iron Age bloomery site in Gästrikland, Sweden. Evidence of a widespread trade. In: B. Cech & T. Rehren (eds). *Early Iron in Europe.* Editions Monique mergoïl montagnac. Pp 261–276.
- Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L., Sköld, K. & Svensson, A. 2018. By who, for whom? Landscape, process and economy in the bloomery iron production AD 400–1000. *Journal of Archaeology and Ancient History* 21: 1–50.
- Stilborg, O. 2018. *Ugnsväggar från Vivungi.* Jukkasjärvi RAÄ 723. SKEA rapport.
- Stilborg, O. 2022. Resultat av specialregistrering och analyser av ugnsväggsfragment från Godegård, Östergötland. SKEA-rapport. Appendix i Berger, A. 2022. *Folkvandringstida järnframställning och medeltida metallhantverk i Godegård.* Arkeologikonsult rapport 2022:3467.
- Stilborg, O. 2023a. The study of clay-built bloomery furnace shafts in Sweden – Ceramological analyses of an important part of iron production through 1500 years. *Journal of Archaeological Science: Reports* Vol. 47.
- Stilborg, O. 2023b. *Fjugestas järnframställningsplats.* SKEA-rapport.
- Sundkvist, A. 2010. *Vendeltida järnframställning i Västra Via.* I Pettersson, E., red. *Västra Via vid vägen. Boplatslämningar och järnframställningsplats från järnåldern samt brandgravar från senneolitikum-äldre bronsålder.* Västra Via 2:4, 2:6 & 10:1, RAÄ 84:1–2, Vintrosa socken, Närke. SAU rapport 2010:2. 134–145.
- Willim, A., Grandin, L. & Andersson, D. 2006. Järnframställning i Västra Via. RAÄ 84:1, Vintrosa sn, Närke. *Geoarkeologiskt Laboratorium, Analysrapport 5-2006.* Uppsala.
- Westin, Å. 2003. Stomskil. En järnframställningsplats norr om Hjälmarens. I: Karlenby, L. (red) *Mittens rike. Arkeologiska berättelser från Närke.* Riksantikvarieämbetet Arkeologiska undersökningar Skrifter 50. Stockholm, 377–390.

BILAGOR

Bilaga 1. Registrering och analys av ugnsväggar från Fjugesta

Bilaga 2. Analys av slagg och järn från Fjugesta

Bilaga 1. Registrering och analys av ugnsväggar från Fjugesta

Ole Stilborg, SKEA

Bilaga 1. Registrering och analys av ugnsväggar från Fjugesta.....	1
Bilaga 1A. Analysmetoder för teknisk keramik.....	1
Bilaga 1B. Resultat av första Fjugesta-registreringen.....	2
Bilaga 1C. Registrering av ugnsväggsfragment från de övriga Fjugestaugnarna..	16
Bilaga 1D. Arkeometriska analysresultat	30
Bilaga 1E. Dataark med resultat av petrografisk mikroskopering av Ts	44

Bilaga 1A - Analysmetoder för teknisk keramik

Specialregistrering

Målet med specialregistreringen av ugnsdelar/schaktfragment från järnframställningsugnar är att makroskopiskt dokumentera råmaterial, konstruktion, dimensioner, effekter av användningen av ugnen samt eventuella spår efter reparation av ugnen (Stilborg 2023). Bland konstruktionsspåren noteras främst avtrycken av pinnar/vidjeflätning, stolpar och bräder samt avtryck och ibland rester av sten (som t.ex. kan ha utgjort en stenram). Dessutom dokumenteras spåren efter blästerhål och andra formdetaljer. Dimensioner rör variationerna i form, storlek och tjocklek av ugnfragmenten vilket ger data om såväl storleken av schaktet som uppbyggnadstekniken. Effekterna av användningen ger sig till känna i värmegradienten *från* insidan där den primära värmekällan befinner sig och där högsta värmen har nåtts *till* den lägsta temperaturen omkring 500 grader C, som måste nås för att materialet blir till keramik och således kan bevaras. Eventuella reparationer av schaktet förekommer oftast på insidan i form av ett (eller ibland flera) lager av samma eller finare lera, men det har rimligen också förekommit reparationer från utsidan av schaktet vilket dock sällan har bevarats i den arkeologiska kontexten (Stilborg 2023).

Mikroskopering av tunnslip i polarisationsmikroskop

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 X studeras eventuella förekomster av exempelvis diatoméer (kiselalger) och kalkfossil.

Termisk analys

Thermo Colour Test innebär att bränna keramik eller lera i hundra graders steg upp till 1000°C och registrera färgutvecklingen med Munsell Soil Color Chart, varvid lerans färgutveckling och hållfasthet vid bränning och keramikens ursprungliga bränningstemperatur och vidare färgutveckling fastläggs (Hulthén 1976). Sintringstestet över 1000°C registrerar sintringsförloppet fram till provets smältpunkt i 50°C intervall. Det senare är speciellt intressant för ett potentiellt råmaterial till ugnsväggar som utsätts för såväl höga temperaturer som flussmedel i form av metalloxyder.

TCT-analys och sintringstest har utförts av A. Lindahl, Archeoceramics Analysis, och resultaten har utvärderats av SKEA.

Kemisk analys med P-ED-XRF.

Röntgenfluorescensanalys med portabel enhet (P-ED-XRF) är en minimalt destruktiv analysmetod för att bestämma ett materials kemiska sammansättning samt eventuella föroreningar från användning eller deponeringskontext (Helfert 2013). För närvarande analys har använts en Olympus Delta 50 portabel XRF-apparat. Metoden har en hög exakthet för huvudelementen (bl.a. Al og Si som är huvudbeståndsdelar i keramik). Osäkerheten är något större för spårelement, och element som är lättare än natrium kan inte mätas. I denna analys ingår följande element: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Au, Ag, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Ta, W, Hg, Pb, Bi, Th och U.

Målet med analysen (som är icke-destruktiv) är i detta fall främst att karakterisera de makroskopiskt olika lerorna kemiskt – speciellt med avseende på eventuell kalkhalt som är en mycket aktuell fråga på grund av områdets geologi.

Bilaga 1B - Resultat av första Fjugesta-registreringen (översiktlig och specialregistrering)

Registreringen gjordes i två omgångar där den första delen avrapporterades och ingick i Arkeologgruppens steg 1-rapport (Balknäs, N. 2023: Rapport 2023:40 in prep). Därefter har resten av materialet specialregistrerats (se nedan).

Tab. 1B:1. Översikt över fynd av ugnsvägsrester från sju av ugnarna som ingått i den preliminära studien. Data om dimensioner och konstruktionsspår är baserade på fragment större än 3x3 cm.

Anlägg	Fnr	Mängd g	Antal lågbr	Antal högbr	Max tjocklek L/H i cm	Avtryck	Lera
865	1303	26	0	2	Få fragm	Ej obs.	Fin
874	1512	1753	14	16	2,6/3	Ej obs.	Fin, porig
945	1565	8800	14	17	2,5/4	Pinn	Mel.gr?
1096	1126,1290	16394	119	49	3,5/3,5	Pinn, spån	Fin
1335	1558	2889	29	31	2/3,5	Stolp?	Fin
1358	1535	3359	29	12	3/4,5	Pinn, spån?	Fin
1375	1530	7569	15	73	3/4	Pinn, stolp?	Fin



Fig.1B:2. Foton av lågbrända (vänster) och högbrända fragment från F1512, ugn A874. Bevarad utsida på flera lågbrända fragment.

Specialregistrering: Hela materialet av fragment över 3 x 3 cm har specialregistrerats. Det består av 14 fragment upp till en storlek av 7 x 4 x 1,2 cm som är brända under sintringsgränsen (fig.1B:2).

Tjockleken varierar mellan 1 och 2,6 cm (fig.1B:3).

Flera har bevarad utsida med avstrykning. 16 mellanstora till stora fragment (största 10 x 5,5 x 3 cm) inkluderar en förglasad insida – ibland med påsintrad slagg/järnrest; träkolsavtryck – och en mer eller mindre tydlig värmegradient mot en lägre bränd reducerad/oxiderad del. I det tydligaste exemplet är den förglasade zonen 6 mm bred, följd av en 8 mm bred sintrad, blåsig (reducerad) zon; en 9 mm bred reducerad, hårt bränd zon och slutligen en 2-3 mm bred lägre bränd, reducerad zon. Att detta totalt ca 2,7 cm tjocka fragmentet inte omfattar någon oxiderad, lågbränd zon tyder på att ugnsvägen på detta ställe bör ha varit upp emot dubbelt så tjock – dvs 5-6 cm. Förglasningen visar att ugnen använts minst två gånger.

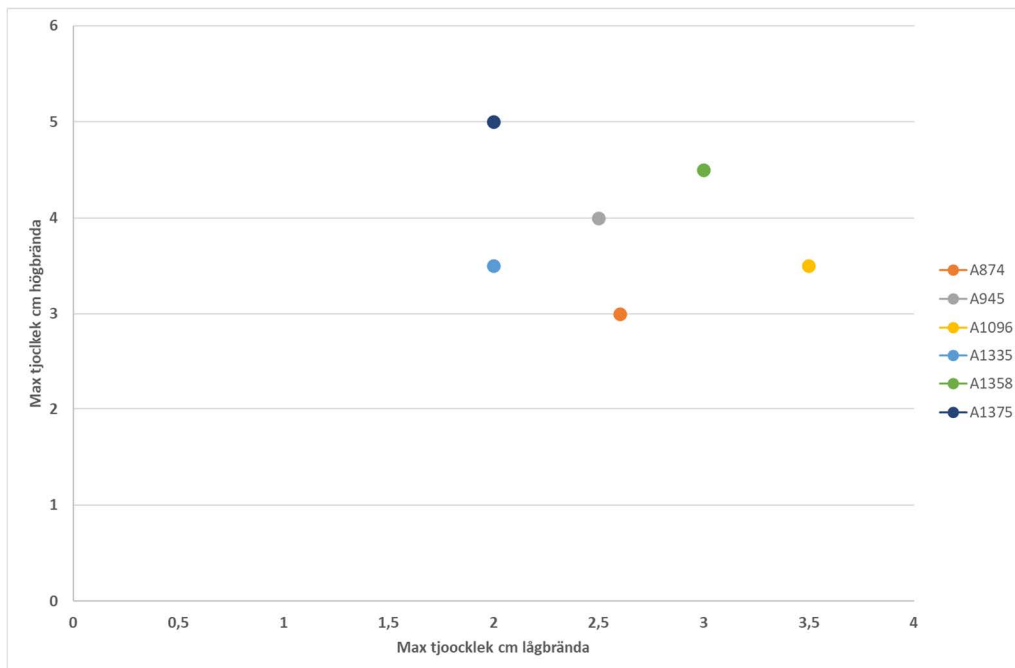


Fig. 1B:3. Diagram över den största uppmätta tjockleken för lågränta respektive högränta fragment över 3 x 3 cm i storlek för sex Fjugesta-ugnar.

Ugn A945, F1565

Översiktligt: Ett 100-tal små till stora, lågränta och sintrade fragment men även en del med förglasade ytor. Största fragmenten mäter 13 x 9 x 4 cm. De flesta fragmenten är av fin, siltig lera, men det finns även några enstaka fragment som består av en något grövre lera. Enstaka bitar bär intryck av pinnar av olika diameter (Tab. 1B:1). Ett lågränt fragment med fastsintrad slagg kan vara en del av en fodring av slagguppsamlingsgropen. Ett mindre urval på 21 fragment har specialregistrerats.



Fig. 1B:4. Foton av fragment med rundade vidje/pinnavtryck, samt ett plant avtryck (mitten) från F1565, ugn A945.

Specialregistrering: Bland 9 mindre ugnsväggsfragment (största 5 x 3 x 2 cm) av fin, siltig lera har två en tydlig värmegradient från en förglasad insida till en lägre bränd, oxiderad/reducerad brottyta i riktning mot schaktets utsida. De övriga är mest lägre brända (oxiderad) och i vissa fall med en bevarad utsida. Utsidan på järnframställningsugnarers lerschakt är oftast inte bevarade eftersom de på

grund av schaktets tjocklek inte har utsatts för tillräckligt hög värme (minst 500 grader C) från processen inne i ugnen för att bli brända. Den yttre delen har således sannolikt regnat bort som lera när ugnen övergavs. Att utsidan har bevarats (även på flera större fragment) tyder på att man antingen bränt schaktet innan man tog det i användning – eller att ugnsväggen är så pass tunn att även utsidan har nått tillräckligt hög temperatur för att brännas.

Till specialregistreringen valdes specifikt ut stycken med avtryck från andra konstruktionsdelar (fig. 1B:4). I två fall finns avtryck av grövre pinnar (4 cm i diam); i tre fall tunnare vidjor (0,6 -1 cm i diam) och i ett fall ett avtryck med 90-graders vinkel av en konstruktionsdel utan känd storlek. De grövre pinnarna (fig. 1B:4 th) har suttit bara 0,5 – 1 cm från utsidan som var bevarad på båda fragmenten. Även de tunna vidjorna tycks ha suttit nära utsidan.

Sju mellanstora (största 4,5 x 3,5 x 4 cm) och stora bitar (största 10 x 9,5 x 2 cm) inkluderar förglasade insidor (slätt konkava till ganska deformerade) och en värmegradient till lägre brända, oxiderade delar. Sex av dessa är av samma fina lera medan två tycks bestå av en grövre, finsandig lera. Den förglasade zonen varierar i tjocklek från ca 15 till 30 mm i tjocklek. Det senare måttet härrör från det tjockaste fragmentet på 4 cm vilket även omfattar utsidan på schaktet och rester av ett vidje-avtryck 0,6 cm i diameter nära utsidan (fig. 1B:5). Eftersom detta mycket värmepåverkade schaktfragment måste härröra från blästerzonen i den nedre delen av ugnen ger det en bra uppfattning av schaktets relativt tunna vägg. Den breda förglasade zonen tyder på att schaktet har använts för mera än två körningar och tillsammans med väggens ringa dimension blir det en bra förklaring på att utsidan har bevarats i flera fall. Den begränsade tjockleken har mycket väl kunnat skapa problem som en djup spricka utgående från väggens utsida på ett av de stora fragmenten visar (fig. 1B:6). I detta fall gick den inte igenom och oönskat insläpp av syre undveks.



Fig. 1B:5. Foton av in- och utsida (tv resp. th) av 4 cm tjockt fragment från A945, F1565 med deformerad, förglasad insida med träkolsavtryck och bevarad utsida innanför vilken finns ett vidjeavtryck (ca 0,6 cm i diam. Röd pil).



Fig. 1B:6. Foto av fragment med en djup men inte penetrerande spricka från utsidan (F1565, ugn A945)

Ett stort fragment (8 x 6 x 2,5 cm) med bevarad utsida och ett smalt vidjeavtryck nära utsidan utmärkte sig genom att ha förglasats sekundärt (fig. 1B:7). Ett mindre fragment hade totalsintrats sannolikt också sekundärt. Dessa båda fragment kan hänga ihop med att ugnresten ser ut att ha dubbla bottnar (fig. 1B:8) vilket kan tolkas som att ett nytt schakt har anlagts ovan i en tidigare riven ugn. En annan möjlighet är att den övre botten representerar en arbetsgrop framför ugnen. Oavsett vilken tolkning är den rätta så kan det ha funnits minst två schaktfaser för ugn 945 och då kan äldre fragment ha sekundärbränts. Det går inte utifrån ugnsväggsmaterialet att säga något om eventuellt tidsavstånd mellan schaktfaser men konstruktionen verkar ha varit densamma för båda schakten.



Fig. 1B:7. Foton av sekundärt bränt fragment; från v: förglasad brottyta; pinnavtryck i kanten och sintrad, ursprunglig utsida (F1565, ugn A945).



Fig. 1B:8. Utgrävningsfoto av ugn A945 med övre och nedre botten. N. Balknäs foto.

Lucka? Två mellanstora fragment (5 x 5 x 1,3 cm) sticker ut genom form (nära kvadratiska och med minst en, tillsynes formad, kant på bevarad utsida), bränning (lågbrända, nära helt oxiderade) och slaggblandade(?) strängar på insidan (fig. 1B:9). Det skulle kunna vara en del av en fodring av en slagg-uppsamlingsgrop, men de verkar så väl formade att man också måste ta in möjligheten att det kan röra sig om rester av en löstagbar lucka för att kunna få ut luppen utan att skada schaktet. Liknande luckor – ofta böjda då de var mjuka när de togs bort – har hittats vid utgrävningar av ugnar på Röda Jorden-lokalen; Västmanland (E. Hjärthner-Holdar pers. medd).



Fig. 1B:9. Två fragment av lucka(?) med lågbränd formad utsida (formad kant vid pil) och delvis smält och slaggförorenad(?) insida/brottyta (F1565, A945).

Ässjefodring. Ett litet tunt fragment och ett lite större (4 x 3,5 x 0,5 cm) gjorda av en grövre, finsandig lera, tolkas som rester av ässjefodring (fig.1B:10). Den större biten har en formad kant med en rundad fördjupning som kan vara rester av ett blästerhål/stöd och fastsintrad slagg på insidan. Dimensioner, material och form tyder således på att det har funnits en smidesässja i närheten av ugnen utan att det går att knyta det till någon av schaktfaserna.

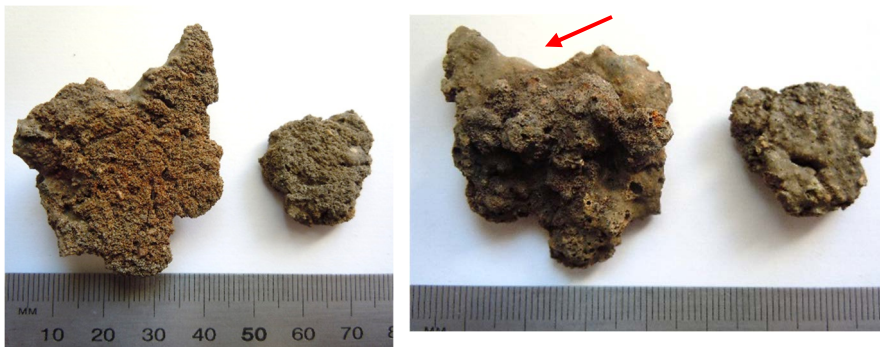


Fig. 1B:10. Två fragment av grövre, finsandig lera med en förglasad insida med fastsintrad slagg. Större fragmentet med en formad kant med en fördjupning som kan vara ett blästerpipsanlag eller rester av ett blästerhål (F1565, A945).

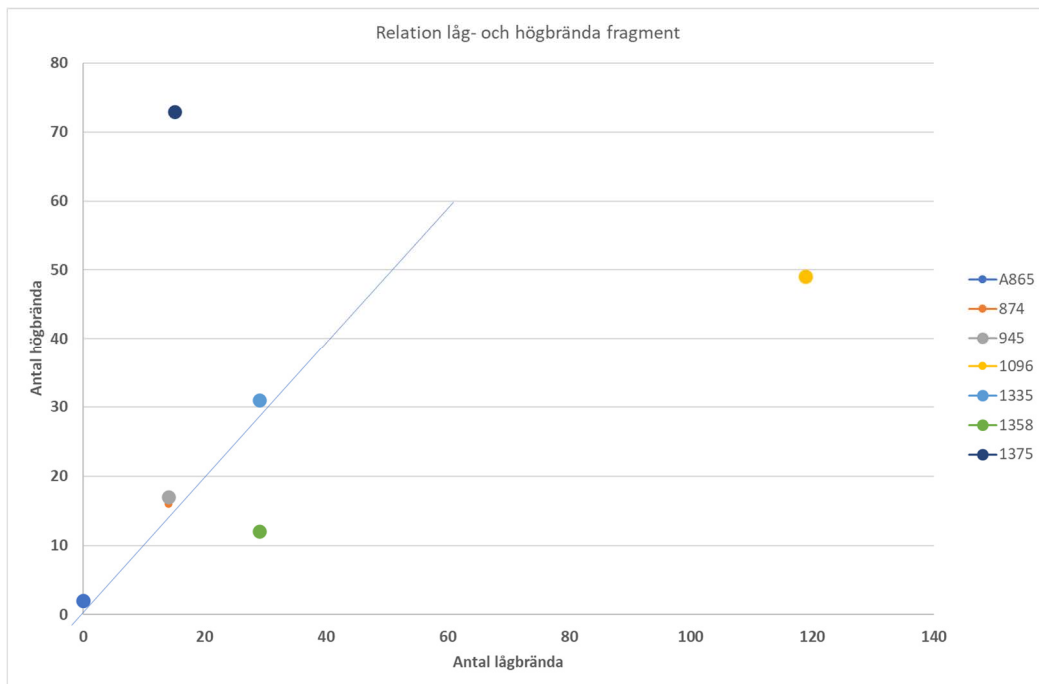


Fig. 1B:11. Diagram över mängdrelationen (antal) mellan lågbrända och högbrända schaktfragment över 3 x 3 cm stora för sju Fjugesta-ugnar. 1:1-gradient-linje inlagd.

Ugn A1096, F1290

Översiktligt: Fyndmaterialet från ugn (F1290 och möjligen F1126) är med 16 kg det absolut största ugnsväggsmaterialet från någon av de undersökta Fjugesta-ugnarna. Det omfattar flera hundra småfragment varav största delen är lågbrända, oxiderade; en del med en formad utsida. Om detta material hade hittats för sig själv utan kontexten med högtemperatur-påverkade fragment och järnslag skulle de möjligen ha identifierats som rester efter en ugnskupol tillhörande en lågtemperaturugn (som ofta har bränts innan de togs i användning) eller som oidentifierat bränt lera. Mängden av lågbrända fragment är exceptionell även bland de studerade Fjugesta-ugnarna (fig. 1B:11).

Samtliga fragment framstod makroskopiskt som gjorda av samma fina, siltiga lera. Det fanns ett antal olika avtryck av andra konstruktionsdelar (Tab. 1B:1) däribland flera plana och kil-formade. 32 fragment valdes ut för specialregistrering.

Specialregistrering:

Av de specialregistrerade fragmenten är 21 lågbrända och bortsett från två stycken är alla oxiderade. Lite mera än hälften har en mer eller mindre bevarad, avstruken utsida. Ett större antal har valts för registrering på grund av de plana avtrycken av trä med struktur av olika grovlek (fig. 1B:12).



Fig. 1B:12. Fyra fragment med avtryck av plana trästycken med olika struktur som använts i schaktets konstruktion (F1290, A1096).

Flera av dessa trä-stycken (spån?) har varit placerade bara några millimeter (4-5) från utsidan och det är sannolikt också dessa träflisor/spån som har förorsakat de kilformade hålrummen nära utsidan i ett antal fragment (fig.1B:13). Ett par av dessa hålrum antyder att träspån haft en tjocklek av 0,5 till 1 cm.



Fig. 1B:13. Fyra olika fragment med bevarad lågbränd utsida och med avtryck av plana trästycken infogade nära utsidan (F1290, A1096).

På ett fragment finns även ett avtryck från en ca 1,5 cm i diameter stor rund pinne som har varit placerat längre inne i schaktväggen (fig.1B:14). På ytterligare ett fragment anas en rundad fördjupning på ugnsväggens utsida som kan härröra från en yttre stödjande träkonstruktion (fig. 1B:14, jämför Stilborg 2022). Ytterligare ett träavtryck med tydlig struktur och en mätbar bredd på 1,7 cm finns på den lägre brända brottytan av ett fragment med en förglasad insida (fig.1B:15).



Fig. 1B:14. Fragment tv med vidjeavtryck (ca 1,5 cm i diam) och fragment th med bevarad utsida och avtryck(?) av stock (3 cm i diam) från ev yttre ram (F1290, A1096).



Fig. 1B:15. Fragment med förglasad insida och motstående brottyta och plant avtryck av trästycke mindre än 2 cm från insidan (F1290, A1096).

Den förglasade zonen är 7-10 mm bred och går över i en relativt lågbränd, reducerad zon ca 1 cm från träavtrycket varav en del är oxiderad. Spåren av andra konstruktionselement utöver lera visar således på en komplex uppbyggnad med smala träspån och enstaka(?) vidjor i båda fallen av okänd längd (längsta uppmätta är 6 cm) och orientering och eventuellt yttre stödjande timmer av okända dimensioner. Ett större lågbränt fragment tycks ha ett 2-2,5 cm stort runt hål från den formade utsidan som tycks för litet för en blästeröppning (fig. 1B:16). En bättre kandidat är en mindre, böjd bit från ugnsvägg-ens utsida som anger ett hål med ca 5 cm i diameter.



Fig. 1B:16. Fragment med rester av mer eller mindre sannolika blästerhål – tv 2-2,5 cm resp. th ca 5 cm (F1290, A1096).

Elva fragment har bevarad förglasad/sintrad (ofta deformerad) schaktinsida ibland med fastsintrade rester av slagg med järnslag. Den förglasade, mer eller mindre blåsiga förglasade zonen varierar i

tjocklek mellan 5 och 22 mm. Det är klart mindre än de 15 till 30 mm breda zonerna i A945, vilket sannolikt ska tolkas som ett lägre antal körningar i ugn A1096 än i A945 (dock minst två). De tjockaste fragmenten med förglasad insida är 4-4,5 cm tjocka och omfattar också en 1-2 cm bred, lägre oxiderad bränd zon mot ugnsväggens utsida. De tjockaste lågbrända fragmenten med bevarad utsida är 2,5 – 3 cm tjocka vilket sammanfört med dimensionsvariationen för fragmenten med insida (och med en viss överlappning) tyder på en schakttjocklek i blästerzonen på 5-6 cm (jämfört med ca 4 cm på ugnen A945). Schaktet A1096 tycks alltså ha varit tjockare än det i ugn A945. I det senare fallet är det möjligt att det är ugnsväggens relativt begränsade dimensioner som är orsaken till att utsidan har bränts av värme från processen och således bevarats. Om A1096 som antagits har haft en 50 % tjockare ugnsvägg är det mera troligt att så mycket av utsidan och antagligen delar av ugnen utanför blästerzonen har bevarats på grund av en bränning av hela schaktet innan ugnen togs i bruk.

Ugn A1335, F1558

Översiktligt: Omkring hälften av de drygt 100 fragmenten av ugnsvägg är små; antingen lågbrända, oxiderade eller med tydlig värmegradient från en smält insida. Även bland de större fragmenten finns båda typerna representerade. Fin, siltig lera. Inga konstruktionsspår observerades (Tab. 1B:1). Åtta fragment valdes för specialregistrering.



Fig. 1B:17. Fragment med bevarad utsida och konkav form – ev stolpavtryck (F1558, A1335).

Specialregistrering: Bland de lågbrända fragmenten finns två reducerat brända (sotiga?) med en konkav utsida (fig. 1B:17). Det skulle kunna vara avtryck av yttre stolpstöd för ugnen (jmf Stilborg 2022) och anlaget mot en stolpe skulle eventuellt också kunna förklara mörkfärgningen. I övrigt har det inte iakttagits några spår av andra konstruktionsdelar på schaktesterna. Bland de större fragmenten (största är 6 x 5 x 2 cm) med värmegradient varierar den smälta zonens bredd från 7 till 20 mm och den totala, bevarade tjockleken mellan 2,5 och 3 cm. Värmegradienten slutar i en millimeterbred zon av hårt, oxiderat bränd lera. De lågbrända bitarna är upp till 2 cm tjocka vilket tillsammans med ovan nämnda fragment antyder en ursprunglig vägg-tjocklek på omkring 5 cm. Förglasningen visar att ugnen använts minst två gånger.

Ett 6,5 x 5 x 2 cm stort fragment är lätt förglasat (med fin blåsighet) på delar av utsidan och är i övrigt huvudsakligen lägre bränt (fig. 1B:18). En del av kanten på stycket är dessutom rundad vilket tillsammans tyder på att det är sekundärt bränt. Det kan vara ett fragment från ett äldre schakt eventuellt från en av de närliggande ugnarna (fig. 1B:20).

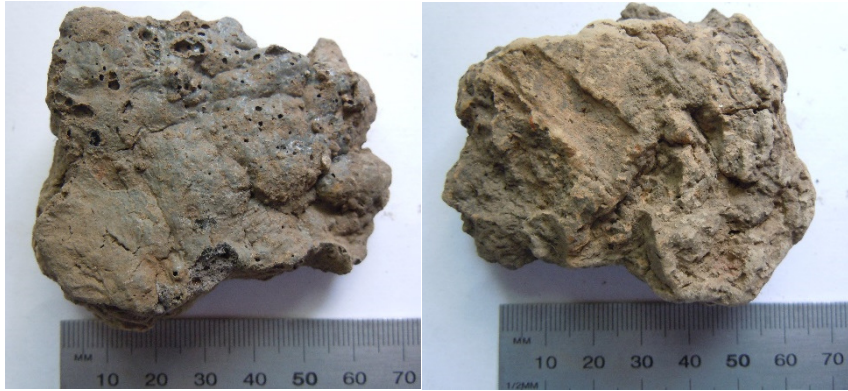


Fig. 1B:18. Fragment med sekundärt sintrad/förglasad utsida och ett ca 1 cm brett pinnavtryck på motstående brottyta – 2 cm från utsidan (F1558, A1335).

Ugn A1358, F1535

Översiktligt: Fynden som omfattar mera än 100 fragment domineras av små-mellanstora fragment som mest är lågbrända, oxiderade. Även bland större fragment finns lågbrända (upp till 6 x 4,5 x 1,5 cm med bevarad utsida) men de flesta har en tydligt förglasad insida. Fin, siltig lera. Några fragment bär spår av andra konstruktionsdelar (Tab. 1B:1). Fyra fragment valdes ut till specialregistrering.



Fig. 1B:19. Fragment med slaggklump på insidan och plant 1,7 cm brett träavtryck på motstående brottyta jmf fig. 1B:15 (F1535, A1358).

Specialregistrering: Av två lågbrända fragment bidrar det ena, som har bevarad utsida, med en tjocklek på 2,5 cm som del-information om ugnens dimensioner. Det andra har ett avtryck av en böjd vidja (ca 1,5 cm i diameter) i en brottyta. De två fragmenten med värmegradient (största 12 x 6,5 x 4,5 cm) har från 10-12 mm breda, förglasade zoner på insidan till en upp till 20 mm bred zon av hårt, oxiderat bränd lera mot utsidan. På det mindre av dessa fragment finns ett plant, rakt träavtryck av samma dimension (1,7 cm) som det som observerades bland materialet från A1096 (fig.1B:19 jmf fig. 15). Avståndet mellan ugnarna gör det osannolikt att detta skulle vara förorening från schaktet tillhörande A1096 (fig. 1B:20).

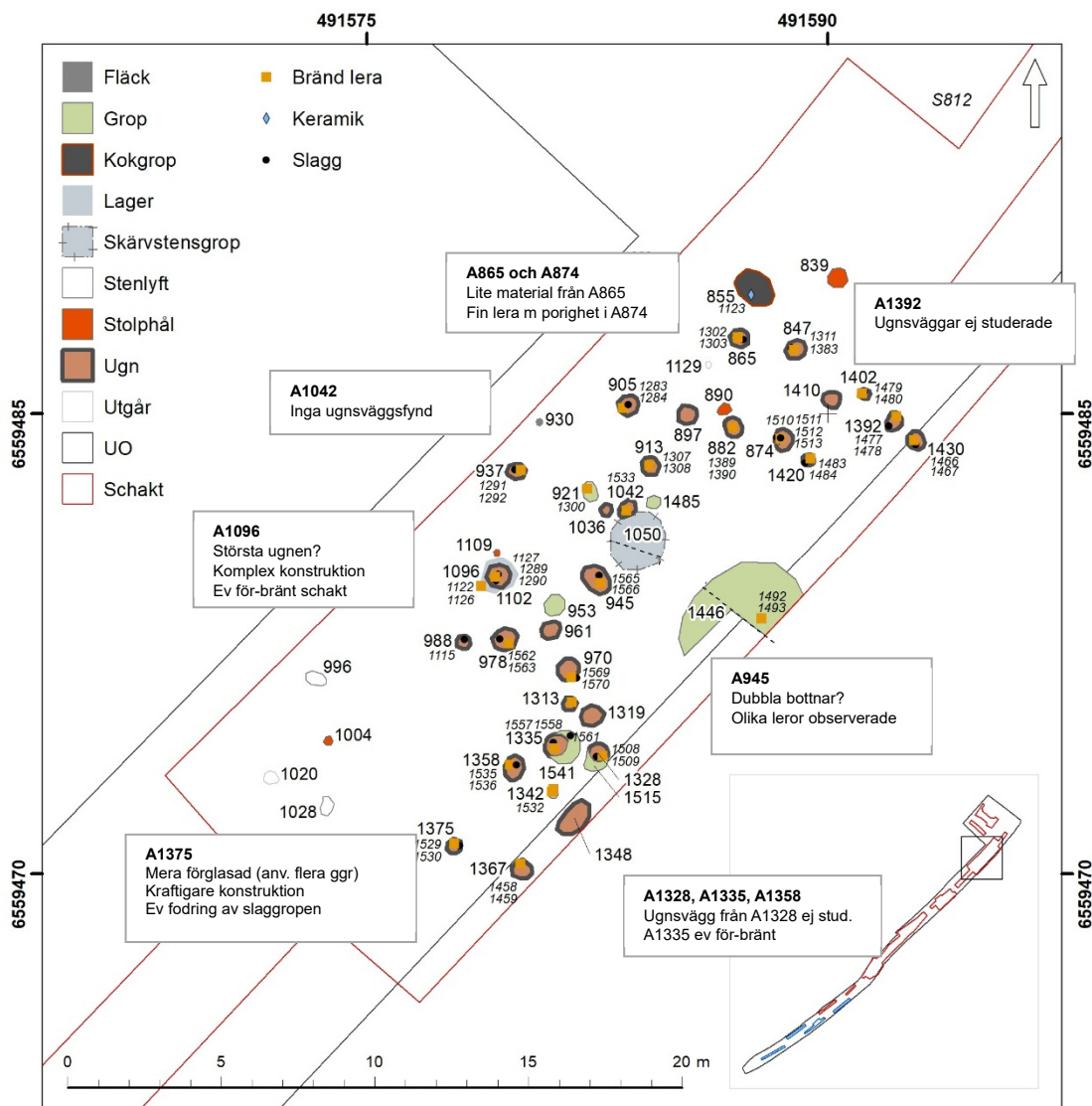


Fig. 1B:20. Plan (från Arkeologgruppen AB) över det undersökta området med ugnar koncentrerade i en halvcirkelformad zon runt kolningsgropen A1446. I rutorna finns kortfattad information om gods, form och funktionsspår för de ugnar varifrån ugnsväggsrester har studerats. Arkeologgruppen del.

Den största tjockleken på ett fragment med utsida (2,5 cm) och på ett fragment med värmegradient från insidan (4,5 cm) bör – med tillbörlig osäkerhet – tyda på en väggjocklek på omkring 6 cm för ugnens blästerzon.

Ugn A1375, F1530

Översiktligt: Fyndet omfattar nära 200 små till stora fragment av ugnsvägg. De mindre fragmenten är mestadels lågbrända, oxiderade, men bland mellanstora och stora bitar dominerar stycken med tydlig värmegradient från en förglasad insida. Största fragmentet mäter 13 x 12 x 3,5 cm. Fin, siltig lera. De relativt få observerade spåren efter andra konstruktionsdelar omfattar både tunnare vidjor och stolpar (Tab. 1B:1). Flera objekt är slaggstycken med påsittande lager av bränd lera som inte har någon för-glasad zon intill slaggen vilket annars är vanligt när det rör sig om schaktfragment. Detta betyder att slaggen i dessa fall inte har varit så varm när den fastnade på leran och att den brända lerdelen i

dessa fragment kan vara rester av en lerfodring av en slagguppsamlingsgrop under ugnen. Tio fragment valdes ut till specialregistrering varav ett av de största har kapats av L. Grandin, Arkeologerna.

Specialregistrering: Fem lågbrända fragment (största 7,5 x 6 x 2 cm) bestod av samma fina, siltiga lera som övriga materialet men på ett eller möjligen två av dessa ses avlånga hålrum sannolikt efter organiskt material (fig.1B:21 tv). Den konkava ytan på det mindre stycket kan vara ett avtryck av en stolpe men med tanke på de breda fingerränderna på det större stycket kan det även vara ett resultat av ytans formgivning. Ytterligare ett mindre fragment med bevarad yta har ett avtryck av en pinne ca 2 cm i diameter på kanten (fig. 1B:21 th), vilket betyder att pinnen suttit precis i ytan på schaktväggen (jämför de ytligt placerade platta pinnarna på A1096).



Fig. 1B:21. Tv två fragment med bevarad utsida och breda fingerränder(?) och th fragment med rest av utsida (pil) och ett avtryck av en rund pinne (2 cm i diam) närmast i flukt med utsidan (F1530, A1375).



Fig. 1B:22. Tv fragment med bevarad in- och utsida (tjocklek 4-5 cm) och th mycket deformerat, förglasat fragment från schaktets insida (F1530, A1375).

Ett 7 x 7 x 4,5 cm stort fragment med tydlig värmegradient från en förglasad insida (2 cm bred förglasad zon) har också en bevarad utsida (fig.1B:22 tv). Ugnsväggens tjocklek på detta ställe är således 4-5 cm.

Ett större fragment (ca 8 x 9 cm) har en tjocklek på ca 5 cm (fig.1B:23) och en komplex struktur som skulle kunna tyda på en lagning. Delning av stycket visar emellertid tydligt att det endast finns en

värmegrad. Anledningen till att detta stycka är tjockare är sannolikt en längre-varande/uppriparad värmepåverkan tillsammans med flussinverkan av järnförorening av ugnsväggen.

Bland de specialregistrerade bitarna finns mellan 12 och 30 mm breda, förglasade zoner och ett fem cm tjockt fragment som är helt förglasat och mycket blåsigt (fig.1B:22 th). Till detta kan läggas observation av tydlig deformation med sprickor och delvis avspjälkning av den förglasade insidan på andra fragment samt övervikten av högt brända fragment i materialet. Tillsammans ska det antagligen tolkas som spåren efter klart flera körningar av denna ugn i likhet med A945 men till skillnad mot de övriga sex tills vidare studerade ugnarna. De enstaka fragmenten med möjlig organisk magring kan förklaras som rester av lagning av utsidan av ugnen eller antyda att det finns rester av minst ett annat tidigare/senare schakt i detta material (jämför A945).



Fig. 1B:23. Foton av kapad ugnsvägg från F1530, ugn A1375. Foto L. Grandin.

Bilaga 1C - Registrering av ugnsväggsfragment från de övriga Fjugesta-ugnarna

Ugnar med litet keramiskt fyndmaterial (Ugn 368, 847, 865, 921, 988, 1211, 1342, 1420 & 10424?)

Materialet från A865 har redan beskrivits i SKEA's tidigare rapport om ett första urval av tekniskt keramiskt fyndmaterial från Fjugesta-platsen. Gemensamt för dessa fyndmaterial är deras ringa mängd eller begränsning till några få större ugnsvägsrester (A988) som betyder att informationsmängden är mycket begränsad (Tabell 1C:1). I flera fall skulle man inte kunna identifiera dem som schaktrester om de påträffats utanför ugnskontexten. Självklart med undantag för fynden som tycks ha bortkommit visar dock resten på att leran, som använts, har samma kvalitet som i nästan alla andra ugnar på platsen.

Tab. 1C:1. Översikt över fynd av ugnsvägsrester från åtta ugnsanläggningar med litet keramiskt fyndmaterial. Data om antal, dimensioner och konstruktionsspår är baserade på fragment större än 3 x 3 cm. * Mängd reducerad för fragment som mest består av slagg.

Anläggning	Fnr	Mängd g	Antal lågbr	Antal högbr	Max tjocklek lågbr/högbr i cm	Avtryck	Lera
368	1385	7 (Saknas)					
847	1383	31	?	?	?	Ej obs.	Fin
865	1303	26	0	2	Få fragm	Ej obs.	Fin
921	1300	7 (Saknas)					
970	1570	127*	5	1	2/	Ej obs	Fin
988	1115	210*	4	1	1,8/1	Ej obs	Fin
1211	1271	17		1	/2	Ej obs.	Fin
1342	2002	30		1	/1,5	Ej obs	Fin
1420	1484	51	fragm			Ej obs	Fin
10424	2001	72 (Saknas)					

Ett mellanstort fragment med formad utsida i F1570, A970 har en formad kant – 1,2 cm bred – som möjligen representerar en del av schaktets övre mynning (fig.1C:1). Denna del bränns inte genom själva användningen av ugnen och det tyder därför på att schaktet bränts innan det togs i bruk.



Fig. 1C:1. Urval av låg- och högbrända fragment från ugn A970 (F1570). Längst ner tv fragment med en formad kant uppåt. Möjligen en del av schaktets mynning.

Tab. 1C:2. Översikt över fynd av ugnsvägsrester från 17 ugnsanläggningar och en kolningsgrop med större keramiska fyndmaterial. Data om antal, dimensioner och konstruktionsspår är baserade på fragment större än 3 x 3 cm. * Mängd ändrad på grund av fränsortering av slagg m.m. respektive tillsortering av ugnsväggsfragment.

Anläggning	Fnr	Mängd g	Antal lågbr	Antal högbr	Max tjocklek lågbr/högbr i cm	Avtryck	Lera
874	1512	1753	14	16	2,6/3	Ej obs.	Fin, porig
882	1390	3054*	47	39	3/5,5	Pinn, sten?	Fin
905	1283	3317*	36	27	2,5/3	Spån	Mg?, växt?
913	1308	405	15	2	1,9/3,6	Ej obs	Fin
937	1292	491	19	4	1,5/3,5	Pinn, spån	Fin
945	1565	8800	14	17	2,5/4	Pinn, övr	Mg?
978	1563	8313*	62	99	5/7,5	Pinn	Fin
1096	1126 1290	16394	119	49	3,5/3,5	Pinn, spån	Fin
1102(!)	1122	586	18	1	2,5/1,5	Spån?	Fin
1313	1539	353*	12	6	2,5/1,5	Pinn, sten?	Fin
1335	1558	2889	29	31	2/3,5	Stolp?	Fin
1358	1535	3359	29	12	3/4,5	Spån, vidje	Fin
1367	1459	2066	40	40	3/3,5	Pinn	Fin
1375	1530	7569	15	73	3/4	Pinn, stolp	Fin
1402	1479	333	7	5	2,2/2	Sten?, spån	Fin
1430	1467	411*	9	7	1,5/2	Pinn, spån, stolp	Fin, växt?
1446	1493-4	1911*	5	42	2,5/3,5	Ej obs	Fin, Mg

Ugn A882, F1390

Ett 90-tal fragment kan delas upp i drygt 80 lågbrända och 11 högbrända. 37 mellanstora stycken (upp till 3,5 x 2 x 3 cm) är lågbrända och flera har bevarad utsida. 17 mellanstora stycken (upp till 3,9 x 2,5 x 2,5 cm) är högbrända flera med tydlig värmegradient från en blåsig, förglasad insida till en lägre oxiderat eller reducerat bränd brottyta. Ett stycke är helt förglasat från sekundär bränning. Tio större stycken (upp till 6,5 x 3,5 x 3 cm) är lågbrända; 7 med bevarad, formad utsida. 22 större stycken (upp till 7 x 6,5 x 5,5 cm) är högt brända med värmegradienter som motsvarar de som ses på mellanstora stycken. En mellanstor och två stora bitar är helt förglasade från sekundär bränning (fig. 1C:2). Leran är fin, siltig.



Fig.1C:2. Två sekundärt brända fragment från ugn A882 (F1390).

På två fragment, två mellanstora stycken och en större schaktdel finns avtryck av runda pinnar med diametrar mellan 3 och 3,6 cm (fig.1C:3). En större lågbränd schaktdel har ett plant sten(?)avtryck på ena sidan och en formad yta på andra sidan. Det är oklart om den senare ytan är en ut- eller insida. Enligt uppgift från Nina Balknäs, Arkeologgruppen fanns enstaka sten i ugsanläggningarna men inget som tydde på förekomsten av en egentlig stenram. Snarare verkar det röra sig om naturligt förekommande sten som råkat ingå i konstruktionen. Utifrån den största uppmätte tjockleken – 5,5 cm – och att den reducerade delen i värmegradienten (förglasad del, sintrad reducerad del samt delvis reducerade lägre bränd del) uppgår till mera än 3 cm har ugnsväggen på detta ställe troligen varit upp till 10-11 cm tjock. Detta gör ugn A882 till en av de mera tjockväggiga ugnarna på området. Mängden av bitar med bevarad bränd utsida visar att ugnen brändes innan den togs i användning. Den upp till >2 cm tjocka förglasade zonen bör vara resultat av ett antal körningar med detta schakt. Inga spår av reparationer har observerats.



Fig.1C:3. Schaktröster med runt pinnavtryck (ovan tv) respektive ett rektangulärt sten(?)avtryck (ovan th) samt motsatta sidor på bilden under (brottyta tv och formad utsida th) från ugn A882 (F1390).

De helt förglasade bitarna visar på existensen av ett tidigare schakt på samma plats om de inte är delar av ett allmänt avfalls-brus på platsen. I det senare fallet visar de på att A882 inte hör till de första ugnarna på platsen.

Prov för analys har tagits.

Ugn A905, F1283

Nära 200 fragment kan delas upp i drygt ca 150 lågbrända varav ett par med bevarad utsida och avtryck av spån som suttit nära utsidan (fig.1C:4) och 27 högbrända, i de flesta fallen med en tydlig värmegradient.



Fig. 1C:4. Två fragment med plana avtryck (nära utsidan) av spån med till synes trekantigt tvärsnitt från ugn A905 (F1283).

26 mellanstora stycken (upp till 5 x 3,5 x 1,7 cm) är lågbrända och de flesta har bevarad utsida som ibland är uppsprucken av värme (fig.1C:5). 19 mellanstora stycken (upp till 5,5 x 5 x 3 cm) är högtbrända, flera med tydlig värmegradient från en mycket blåsig, förglasad insida till en hårt oxiderat bränd brottyta. Tio större stycken (upp till 7 x 6,3 x 2 cm) är lågbrända alla med bevarad, formad yta som mest sannolikt är utsidan (styckena varierar mellan att vara lätt konvexa till lätt konkava). Åtta större stycken (upp till 10 x 5,5 x 2 cm) är högt brända med värmegradienter som motsvarar de som ses på mellanstora stycken (fig.1C:6). Leran förefaller vara lite grövre eventuellt med större andel finsand. På flera fragment finns enstaka avtryck av bland/strån (naturliga eller tillsatta) inne i godset.



Fig.1C:5. Urval av lågbrända bitar med bl.a. krackelerad utsida (ovan tv) från ugn A905 (F1283).



Fig.1C:6. Två större bitar som visar värmegradient från extremt blåsig insida (th) till oxiderad bränd brottyta (Tv) från ugn A905 (F1283).

En större, reducerat lågbränd, schaktdel har ett plant sten(?)avtryck på ena sidan. Enligt uppgift från Nina Balknäs fanns enstaka sten i ugnanläggningarna men inget som tydde på egentlig stenram snarare verkar det röra sig om naturliga sten som råkat ingå i konstruktionen. På två fragment har observerats avtryck av spån som legat nära utsidan (fig.1C:4). Utifrån den största uppmätte (fragmenterade) vägg tjockleken – 3 cm – och observationen att den reducerade delen i värmegradienten (förglasad del, sintrad reducerad del) uppgår till 1,5-2 cm har ugnsväggen på detta

ställe inte varit mycket mera än 4-6 cm tjock. Mängden av bitar med bevarad bränd utsida tyder på att ugnen brändes innan den togs i användning. Sprickbildning på flera delar tyder på en ganska hög temperatur vid denna bränning alternativt att schaktet inte har varit tillräckligt tort innan bränningen. Den förglasade zonen på 1,3-1,5 cm visar på att ugnen har använts minst två gånger. Sannolikt i förbindelse med den sista körningen har det uppstått kraftiga deformationer (jmf fig. 1C:6) och bitar har släppt på delar av insidan möjligen på grund av att man försökt höja temperaturen. Inga spår av reparationer har observerats.

Prov för analys har tagits.

Ugn A913, F1308

Ett 30-tal fragment kan delas upp i 31 lågbrända varav flera med bevarad, formad utsida och en högbränd. 13 mellanstora stycken (upp till 4 x 2,5 x 1,9 cm) är lågbrända och ett har bevarad utsida. Ett mellanstort stycke är högbränt med en tydlig värmegradient. Slutligen finns två större stycken (upp till 5,5 x 3,8 x 3,6 cm) varav ett är en helt bevarad schaktvägg från en slaggbelagd insida över en 2 cm bred, förglasad zon och en ca 10 mm bred, hårt oxiderat bränd zon till en formad utsida (fig.1C:7). Leran är fin, siltig.

Inga avtryck eller spår av andra konstruktionsdelar har observerats. Ugnens dimensioner indikeras av delen med hel bevarad tjocklek på 3,6 cm och kan rimligen ha legat mellan ca 4 och 6 cm. Bredden på den förglasade zonen visar på flera körningar. Inga spår efter reparation har observerats.



Fig.1C:7. En större schaktrest med hel bevarad tjocklek (3-4 cm) från förglasad, blåsig insida till formad utsida från ugn A913 (F1308).

Ugn A937, F1292

Ett 40-tal fragment kan delas upp i 42 lågbrända varav flera med bevarad formad utsida och fem högbrända. Nitton mellanstora stycken (upp till 3,3 x 2,5 x 1,5 cm) är lågbrända och flera har bevarad utsida. Fyra mellanstora stycken (upp till 2,4 x 2,6 x 3,5 cm) är högbrända med tydlig värme-gradient från en mycket blåsig, förglasad insida till en lägre oxiderat bränd brottyta. Leran är fin, siltig.

På ett av fragmenten och ett av de mellanstora styckena syns ett plant, rektangulärt spåntryck som suttit intill 1,3 cm in från utsidan (fig.1C:8). Ett annat stycke har ett smalt pinntryck. Den begränsade mängden fynd och dominansen av fragment gör det svårt att dra några vidare slutsatser

om ugnens dimensioner men konstruktionsmässigt och med hänsyn till rester av bränd utsida finns det likheter med näraliggande A1096.



Fig.1C:8. Urval av fragment och mellanstora, låg- och högbrända bitar från ugn A937 (F1292). De två ovan th har spånavtryck nära utsidan.

Ugn A978, F1563

Ett 140-tal fragment kan delas upp i 118 lågbrända – varav bara få med bevarad, formad utsida – och 28 högbrända – flertalet med tydlig värmegradient från en förglasad insida.

57 mellanstora stycken (upp till 5 x 3,5 x 1,5 cm – största tjocklek 3 cm) är lågbrända och många har bevarad utsida ibland med tydliga fingerdragna ränder (fig. 1C:9). Ett stycke med en bevarad, hårt reducerad bränd insida med värmegradient mot en lägre oxiderad bränd yttre del bör vara en rest av schaktets övre del. 66 mellanstora stycken (upp till 6 x 5 x 2,5 cm – största tjocklek 4 cm) är högbrända; de flesta med tydliga värmegradienter från en blåsig, förglasad insida till en lägre reducerat eller delvis oxiderat, delvis reducerat bränd brottyta. Om brottytan är reducerad eller oxiderad verkar inte omedelbart vara avhängigt av hur tjockt fragmentet är (tjockare fragment skulle då oftast inkludera en oxiderad del) men bör snarare bero på schaktets varierande tjocklek.



Fig.1C:9. Tre lågbrända schaktrester från ugn A978 (F1563). Längst tv ses i profilen kraftiga fingerränder på utsidan; i mitten ett pinnavtryck och th en möjlig rest av ett blästerhål.

Fyndet omfattar 5 större, lågbrända stycken (upp till 6 x 4,5 x 2,5 cm – största tjocklek 5 cm). Två har en liknande hårt reducerad bränd insida som ett mellanstort stycke ovan medan andra har bevarade, formade utsidor (fig.1C:10). 33 större stycken (upp till 9,5 x 8,5 x 4 cm – största tjocklek 7,5 cm) är

högt brända med värmegradienter som motsvarar de som ses på mellanstora stycken (fig.1C:11). Värmegradienten på det största, 4 cm tjocka, stycket omfattar en 14 mm bred, blåsig, förglasad zon följt av en 10 mm bred sintrad, reducerad zon och en 13-16 mm bred, reducerat, lägre bränd zon.



Fig.1C:10. Schaktrest med reducerat hårt bränt insida (th) och reducerat bränt profil (tv) från ugn A978 (F1563).

Förglasningen på flera bitar är lätt blåfärgad – möjligt som en förorening från malmen. En stor bit är helt förglasad som en effekt av sekundär bränning. Leran är fin, siltig.



Fig.1C:11. Större schaktrest med tydlig värmegradient från förglasad insida (tv) till lägre oxiderat bränd utsida (th) från ugn A978 (F1563).

På ett mellanstort, lågbränt stycke hittades ett enstaka avtryck av en rund pinne (2 cm i diam) och det är det enda spåret av andra konstruktionselement som har observerats (fig.1C:9). En rundad kant på ett annat mellanstort, lågbränt stycke kan utgöra den yttre resten av ett 3,5 cm stort blästerhål (fig. 1C:9). Ytterligare ett möjligt blästerhål på ett av de större väggstyckena har haft en beräknad diameter på 4,5 cm. Utifrån den största uppmätte tjockleken – 7,5 cm – och att den reducerade delen i värmegradienten (förglasad del, sintrad reducerad del samt delvis reducerade lägre bränd del) uppgår till minst 4 cm på något fragment har delar av ugnsväggen varit minst 8 cm och möjligen upp till 15-16 cm tjock. Ugn A978 verkar således ha haft ett av de tjockaste schakten på området. Samtidigt har det

– trots den relativt stora mängden brända schaktfragment – bara observerats ett avtryck av stödjande vidjor, vilket kan betyda att man förlitat sig på mera lera för schaktets stabilitet. Mängden av bitar med bevarad bränd utsida tyder på att ugnen brändes innan den togs i användning. Den upp till 1,7 cm tjocka, förglasade zonen bör vara resultat av flera körningar med detta schakt. Inga spår av reparationer har observerats.

Den helt förglasade biten visar på existensen av ett tidigare schakt på samma plats om den inte tillhör det allmänna avfalls-bruset på platsen. I det senare fallet visar den på att A978 inte hör till de första ugnarna på platsen.

Prov för analys har tagits.

Anläggning A1102, F1122

Anläggningen har utgrävts separat men verkar vara en del av ugnen A1096. De knappt 30 fragmenten kan delas upp i 24 lågbrända varav några med bevarad, formad utsida och fem högbrända med tydlig värmegradient från förglasad insida till en oxiderad, lägre bränd del. 14 mellanstora stycken (upp till 4 x 3,5 x 2,5 cm) är lågbrända och fem har bevarad utsida. Bara ett mellanstort fragment (4 x 2,3 x 1,5 cm) är högbränt med en enkel värmegradient bestående av en 10 mm bred, förglasad zon följt av en 5 mm bred zon av oxiderad, lägre bränd lera. Fyra större bitar (upp till 6,5 x 4 x 2 cm) är oxiderade lågbrända – i ett fall med en uppsprucken hårdare bränd insida. Leran är fin, siltig.

På ett par av fragmenten och ett av de mellanstora styckena syns plana, rektangulära avtryck som kan vara från samma slags spån som observerades på schaktfragment från A1096. Sammantaget passar fyndmaterialet väl ihop med schaktfragmenten från A1096 vilket stärker samhörigheten mellan anläggningarna och att materialet i A1102 är rester av schakt från ugn A1096.



Fig.1C:12. Urval av mellanstora låg- och högbrända bitar från ugn A1313 (F1539).

Ugn A1313, F1539

Av 18 fragment är hälften lågbrända och resten sintrade eller med en förglasad insida. Åtta mellanstora stycken (upp till 5 x 2,5 x 1,5 cm) är lågbrända varav några med bevarad utsida (fig.1C:12).

Fem mellanstora stycken (upp till 3 x 3 x 1 cm) är högbrända flera med tydlig värmegradient från en mycket blåsig, förglasad insida till en lägre oxiderat bränd brottyta. De fem större väggdelarna fördelar sig på fyra lågbrända (upp till 4,5 x 3 x 1,5 cm) och en högbränd (4,5 x 3 x 1,5 cm) med en tydlig värmegradient från en förglasad insida till en reducerad, lägre bränd brottyta. Leran är fin, siltig.



Fig.1C:13. Schackrest med stenavtryck (?) sett från ugnens insida. Från ugn A1313 (F1539).

På den största lågbrända biten finns ett plant sten(?) -avtryck (ovanför vilket leran är sintrad) och på par av de mellanstora styckena finns också plana avtryck som antyder att sten kan ha ingått i konstruktionen – antingen som en del av den naturliga miljön eller aktivt inkluderade (fig. 1C:13). Ett annat mellanstort stycke har ett pinnavtryck med en beräknad diameter på 2 cm. Mängden fynd inklusive en del fragment gör det svårt att dra vidare slutsatser om ugnens dimensioner men den tycks inte höra till de största eller kraftigast byggda vilket passar ganska väl med storleken på anläggningen.

Ugn A1367, F1459

De 150 fragmenten kan delas upp i drygt 100 lågbrända varav flera med bevarad utsida och 36 högbrända i de flesta fallen med en tydlig värmegradient. Förglasningen har oftast en gulbrun färg medan andra delar är blåfärgade.



Fig.1C:14. Urval av mellanstora schackrester från ugn A1367 (F1459). Lågbränt med pinnavtryck (tv) och två högbrända (th).

32 mellanstora stycken (upp till 4 x 3 x 1,7 cm) är lågbrända, flera med bevarad utsida. 27 mellanstora stycken (upp till 4,3 x 2,5 x 3,1 cm) är högbrända, flera med tydlig värmegradient från en mycket blåsig, förglasad insida till en oxiderad eller reducerad lägre bränd brottyta (fig.1C:14). Tio bitar har mjuka former och sintrade brottytor som tyder på sekundär bränning. Fem större stycken (upp till 6 x

4,5 x 3 cm) är lågbrända och två har bevarad, formad utsida. Tretton större stycken (upp till 6 x 3,5 x 3,5 cm) är högt brända med en värmegradient från en upp till 20 mm bred förglasad, blåsig zon över en 3-5 mm bred, reducerad sintrad zon till en ca 12 mm bred reducerad, lägre bränd zon. Leran är fin, silting.

På en större lågbränd bit har ett runt pinnavtryck med en beräknad diameter på 2,5 cm observerats (fig.1C:14). Därutöver har inga spår av andra konstruktionsdelar iakttagits. Schaktfragmenten är genomgående ganska tunna men den reducerade lägre brända delen på en större (3 cm tjock) bit antyder att väggen ändå bör ha varit mera än 6 cm tjock på detta ställe. Antalet bitar med bevarad bränd utsida tyder på att ugnen brändes innan den togs i användning. Den förglasade zonen på upp till 2 cm visar på att ugnen har använts ett flertal gånger. Inga spår av reparationer har observerats.

De sekundärt brända bitarna visar på existensen av ett tidigare schakt på samma plats om de inte är delar av ett allmänt avfalls-brus på platsen. I det senare fallet visar de på att A1367 inte hör till de första ugnarna på platsen.

Prov för analys har tagits.



Fig.1C:15. Värmegradient på mellanstor bit från ugn A1402 (F1479). Obs förglasad insida mot höger.

Ugn A1402, F1479

Utöver tre högbrända är resten av de 92 fragmenten lågbrända. Åtta mellanstora stycken (upp till 4 x 2 x 2,2 cm) är lågbrända; fem med bevarad utsida. Fyra mellanstora stycken (upp till 4 x 4 x 2 cm) är högbrända med tydlig värmegradient från en 9 mm bred förglasad zon över en 2 mm bred sintrad, oxiderad(!) zon till en 8 mm bred, hårt oxiderat bränd zon som slutar i en brottyta (fig.1C:15). Fyndet omfattar inga större schaktdelar. Leran är fin, silting.

På en mellanstor lågbränd bit finns ett konkavt sten(?)-avtryck på ena sidan och ett plant trä(?) avtryck på den andra sidan (fig.1C:16). Ett annat mellanstort, högbränt, stycke har rester av en rundad horisontell öppning med en beräknad diameter på 1,5 cm som omedelbart verkar för liten för ett blästerhål. Mängden fynd inklusive en del fragment gör det svårt att dra vidare slutsatser om ugnens dimensioner men tjocklekarna omkring 2 cm på de bevarade fragmenten tillsammans med att en oxiderad zon följer omedelbart på den förglasade zonen tyder på att detta är en mindre ugn med tunn schaktvägg. De bevarade utsidorna visar på att schaktet har bränts innan ugnen togs i användning. Förglasningen tyder på att ugnen har körts minst två gånger men knappast mer än det. Inga spår av lagning har observerats.



Fig.1C:16. Lågbränd bit från ugn A1402 (F1479) med konkavt sten(?)avtryck på ena sidan (tv) och ett plant avtryck (trä?) på andra (th).

Ugn A1430, F1467

Av de 42 fragmenten är 30 lågbrända varav några med bevarad utsida och 12 högbrända i flera fall med tydlig värmegradiënt från en förglasad insida. Sex mellanstora stycken (upp till 4 x 2 x 2,2 cm) är lågbrända; fem med bevarad utsida. Nio mellanstora stycken (upp till 3,5 x 2,7 x 2 cm) är lågbrända (två med bevarad utsida) och sju är högbrända (4,4 x 4 x 2,5 cm) med varierande värmegradiënt från en sintrad till en förglasad insida. Värmegradiënten på det största fragmentet går från en 16 mm bred förglasad, blåsig zon över en 3 mm bred reducerad, sintrad zon till en 6 mm bred hårt, reducerad bränd zon. Leran är fin, siltig.



Fig.1C:17.Lågbränd bit från ugn A1430 (F1467) med avtryck av spannmålskorn (pil).

Ett spannmålsavtryck (fig.1C:17) kan vara ett spår av en växtmagring men placerar, oavsett om det rör sig om magring eller slumpmässig inblandning, bygget av schaktet under sommar/skördetid.

Kilformade spåntryck nära en formad utsida har observerats på två lågbrända fragment (fig. 1C:18). På två mellanstora, lågbrända bitar finns pinnavtryck där ett har en beräknad diameter på 3 cm. Ett annat mellanstort, högbränt stycke har avtryck som tycks härröra från en stolpa med en beräknad diameter på 6 cm. Denna kombination av olika typer av stödjande konstruktioner liknar det som observerades i ugnsväggsmaterialet från ugn A1096. Den begränsade mängden fynd inklusive en del fragment gör det svårt att dra slutsatser om ugnens dimensioner. Tjocklekarna omkring 2 cm på de bevarade fragmenten skulle omedelbart tyder på ringa dimensioner som i tolkningen av ugn A1402 ovan men den bredare, reducerade delen (minst 2,5 cm) i värmegradienten och avtrycken av en komplex stödkonstruktion (spån, pinnar, stolpa) pekar på att detta ändå bör ha varit en större ugn mera i likhet med A1096. Schaktresterna med bevarad utsida visar att schaktet har bränts innan ugnen togs i användning. Den relativt breda förglasade zonen tyder på att ugnen har körts ett flertal gånger. Inga spår av lagning har observerats.



Fig.1C:18.Lågbrända fragment från ugn A1430 (F1467) med avtryck av kilformade spån.

Kolningsgrop A1446, F1493 & 1494

De närmare två kilon ugnväggsfragment från kolningsgropen fördelar sig på ett mindre antal fragment (17 lågbrända och 12 högbrända); fem mellanstora, lågbrända stycken (största 4 x 3,5 x 1,7 cm) varav flera med bevarade utsidor och 32 mellanstora, högbrända (största 5 x 3,5 x 2,8 cm) med mera eller mindre tydliga värmegradienter (fig.1C:19). Ett av de senare styckena med en tjocklek på 2,5 cm har både en sintrad insida och en formad, oxiderad utsida och härrör sannolikt från den övre delen av ett schakt. Ett annat fragment är tydligen sekundärt bränt. Samtliga 10 större stycken (upp till 7,5 x 7,5 x 3,5 cm – plus ett tjockt slagglager) är högbrända med tydliga värmegradienter. En värmegradient går från en 15 mm bred förglasad, mycket blåsig zon över en 6 mm bred sintrad, reducerad zon till en 4-5 mm bred, oxiderad, lägre bränd zon som slutar i en brottyta. En 9 x 4,5 x 2,5 cm stor bit, som verkar hopvikt med stora sprickor i den kraftigt konvexa sidan (fig.1C:20) skulle kunna utgöra rester av en ugnslucka eller ha uppstått på annat sätt vid öppningen av schaktet för att ta ut luppen. Leran är fin, siltig i de flesta bitarna men i enstaka andra fall förefaller den vara något grövre (jmf A945 nära gropen).

Inga avtryck efter andra konstruktionsdelar har observerats. Det finns inte heller några spår efter blästerhål eller lagning av schaktet/schakten.

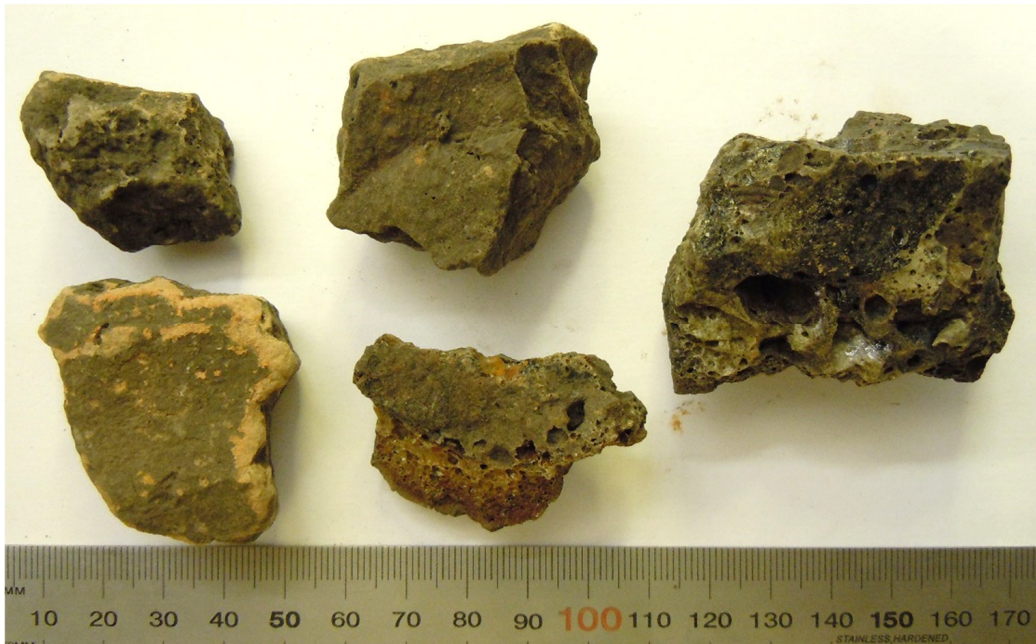


Fig.1C:19.Låg-och högbrända schaktrester från kolningsgropen A1446 (F1493).

Detta fyndmaterial skiljer ut sig från fynden från ugnsanläggningarna genom en klart lägre andel lågbrända schaktdelar och en något större variation i råmaterial och i dimensioner på schaktdelarna. Materialet liknar således i högra grad de rester av rivna schakt som man vanligtvis påträffar i slagvarp. Det bortforslade materialet innehåller naturligt färre fragment och det är främst de större förslagnade delarna som är så pass mycket i vägen att det är rimligt att använda tid på att förflytta dem från ugnsområdet. Deponeringen i kolningsgropen bör rimligt ha ägt rum efter att denna inte längre var i användning men järnframställningen fortfarande var i gång på platsen.



Fig. 1C:20. Större högbränd schaktrest från kolningsgropen A1446 (F1494). Från insidan tv till utsidan th ses en tydlig värmegradient. Stycket är också kraftigt vikt vilket kan betyda att det är en del av en lucka som öppnats för att ta ut luppen (jmf ugn A945).

Bilaga 1D – Arkeometriska analysresultat

Ett urval av schaktrester har analyserats petrografiskt (tunnslipsanalys), kemiskt (P-ED-XRF-analys) och termiskt (TCT och sintringstest) för att fördjupa kunskapen om lerval och eventuell magringstillsatts (Tab 1D:1).

Tabell 1D:1. Prov till analys genom petrografisk mikroskopering av tunnslip, kemisk analys med P-ED-XRF och termisk analys med TCT och sintringstest.

Kontext, fynd	Petrografi (Ts)	Kemi (P-ED-XRF)	Termisk (TCT, Sintring)
A882, F1390	Ts 1		
A905, F1283	Ts 2	X	X
A945, F1565	Ts 3,4	X, X	X, X
A978, F1563	Ts 5	X	X
A1096, F1290	Ts 6		X
A1358, F1535		X	
A1367, F1459	Ts 7	X	
A1375, F1530	Ts 8		
A1402, F1479	Ts 9	X	
A1430, F1467	Ts 10		
A1446, F1493		X	

Mikroskoperingen av de tio tunnslipen bekräftade en stor homogenitet i materialet. De detaljerade resultaten redovisas på datablad som är samlade i bilaga 1E. I texten här presenteras tolkningen av dessa resultat. Leran i sex av proven bedömdes som fina, sorterade med en hög till mycket hög halt av silt och lite finsand (max. kornstorlekar 0,25 till 0,45 mm) medan proven från A905, A1367 och A1402 samt ett av proven från A945(Ts 3) hade något högre mängder av finsand (och i ett fall enstaka sandkorn) och bedömdes som mellangrova (fig.1D:1). Den maximala kornstorleken i de senare varierar mellan 0,4 och 1,5 mm. En större del av proven är sintrade och förglasade vilket kraftigt påverkar möjligheten att bedöma glimmerhalt och järnoxidhalt. Där observation är möjlig är lerorna glimmer-haltiga och järnoxidhaltiga till järnoxidrika. Med undantag för proven från A1367 och A1430 karakteriserades lerorna också av flera, större järnoxidkoncentrationer (upp till 3-4 mm stora). De mineralogiska observationerna i finsandsfraktionen påverkas också av de höga temperaturerna men i de lägre brända delarna observerades en hel del korn av olika mörka mineral och ofta biotitkorn. Enbart ett av proven från A945 (Ts 3 som var mycket förglasat) och proven från A978 och A1375 har en lägre förekomst. Av stor betydelse för slutsatsen att lerorna i samtliga prov har samma ursprung är förekomsten av diatomeer (ofta tillsammans med spongienålar) i åtta av proven. Det var inga observationer i ett av proven från A945 (Ts 3) och provet från A1367, men i båda fallen var de lågbrända delarna, där kiselskeletten kunde ha bevarats, mycket begränsade. Det har inte utförts en diatomeanalys men form-variationen antyder att det kan vara samma artsammansättning (fig. 1D:2). Vid den makroskopiska registreringen misstänktes att avtryck och fin porighet i fragment från ugnarna A905 och A1430 kunde betyda växtmagring. Med förbehåll för att hålrum efter organiskt material snabbt stängs i högre bränd keramik kunde tunnslipsanalysen inte bekräfta någon förekomst av växtmagring. Provet från A1402 innehåller dock en del mindre organiska rester som bedöms som naturlig förekomst. Det är rimligt att tro att de makroskopiska observationerna också beror på naturligt växtmaterial i leran. Med tanke på spannmålsavtrycket på fragment från A1430 kan det röra sig om förorening av tröske-avfall från platsen. Inga andra spår av tillsatt magring observerades. Inga spår av lagning av ugnsväggarna observerades.

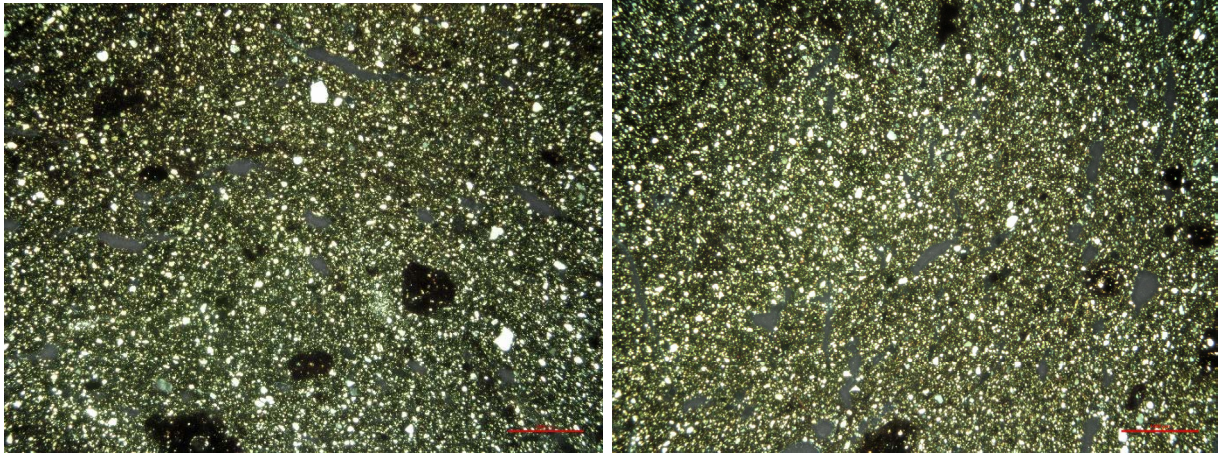


Fig.1D:1. Mikroskopfoton av Ts 2, A905 (mellangrov, rik på järnoxidkoncentrationer) tv och Ts 10, A1430 (fin, få järnoxidkoncentrationer).

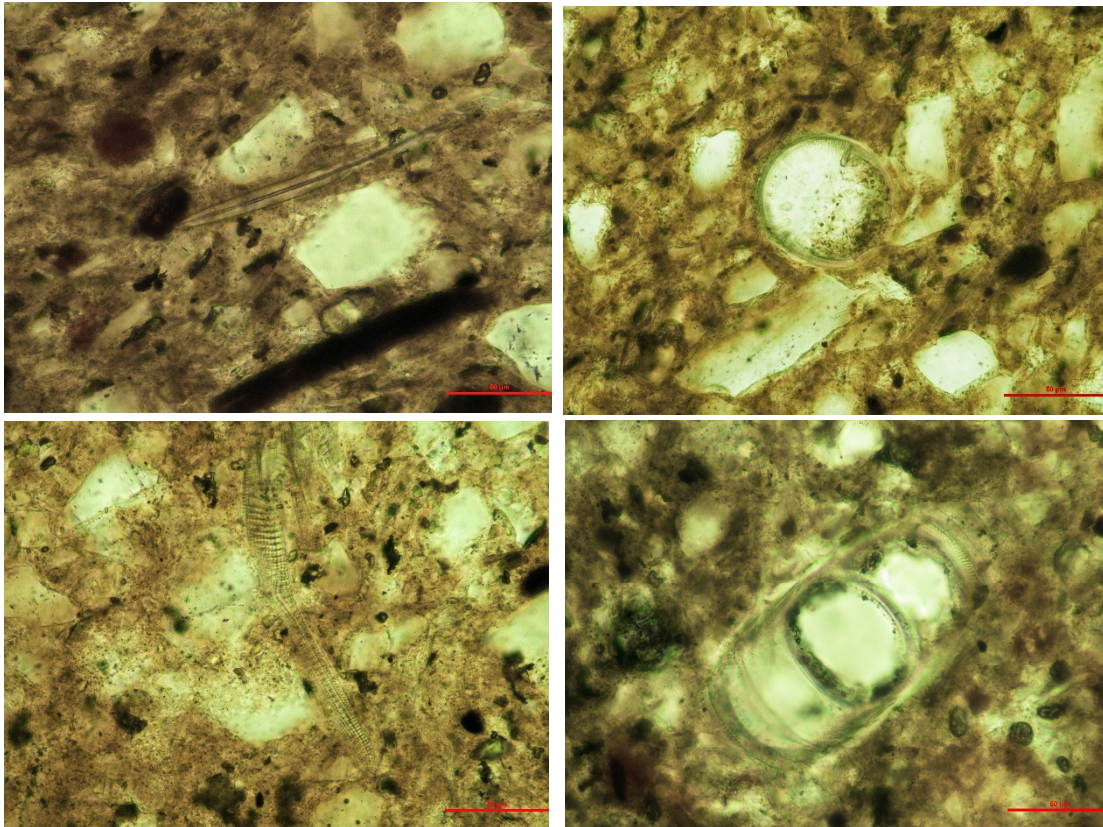


Fig.1D:2. Mikroskopfoton av spongiennål i Ts 4, A945 (ovan tv) och av diatomeer i Ts 6, A1096 (ovan th) och Ts 9, A1402 (nedan).

Den kemiska analysen med P-ED-XRF av totalt 8 prov från 7 olika ugnar (A905, A945 (2 prov), A978, A1358, A1367, A1402 & A1446) kompletterade de petrografiska datan ovan. Även här har två prov från A945 analyserats på grund av de makroskopiska observationerna som pekar på möjligheten att det finns rester av minst två olika schakt som avlöst varandra på samma ställe.

Från resultaten har relationerna Al-Si, Ca-Fe, K-Rb och Ti-V studerats närmare för att bedöma den kemiska variationen på lerorna som valts till ugnbyggena (fig.1D:3 till :6). Spridningen i Al-Si är ett uttryck för variationen i lerans grovlek och Ca-Fe visar på variationen i kalk och järnhalt. Ämnesparen

K-Rb och Ti-V är båda positivt korrelerade och grupperar sig med samma koefficient (lutning) om de har samma ursprung – vilket lera från samma lertäkt har.

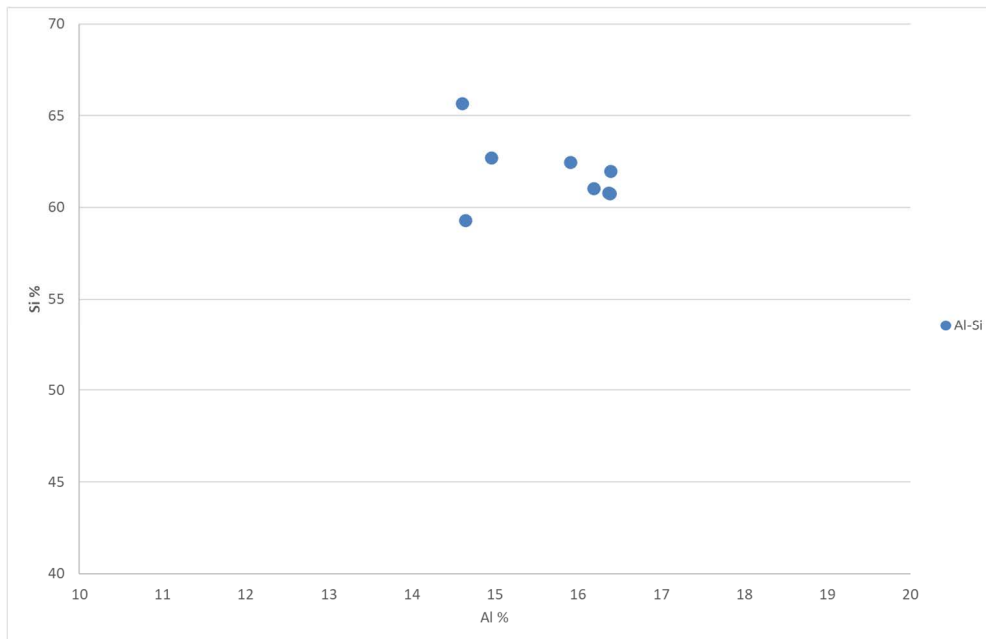


Fig.1D:3.Diagram över P-ED-XRF-data för halten av Al och Si i åtta prov från sju Fjugestugnar. Obs förskjutna axlar.

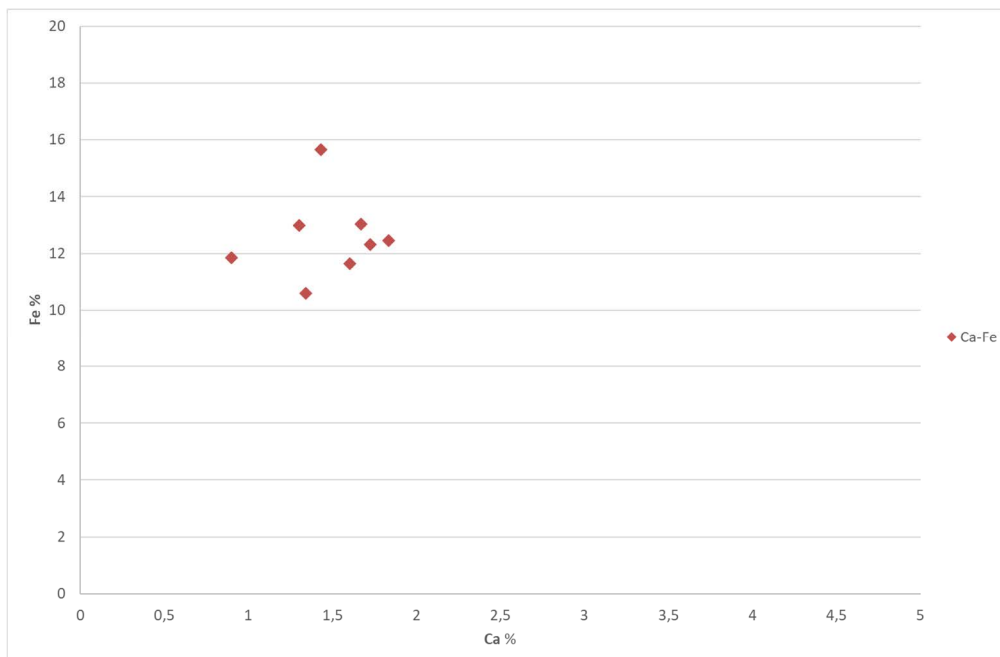


Fig.1D:4.Diagram över P-ED-XRF-data för halten av Ca och Fe i åtta prov från sju Fjugestugnar.

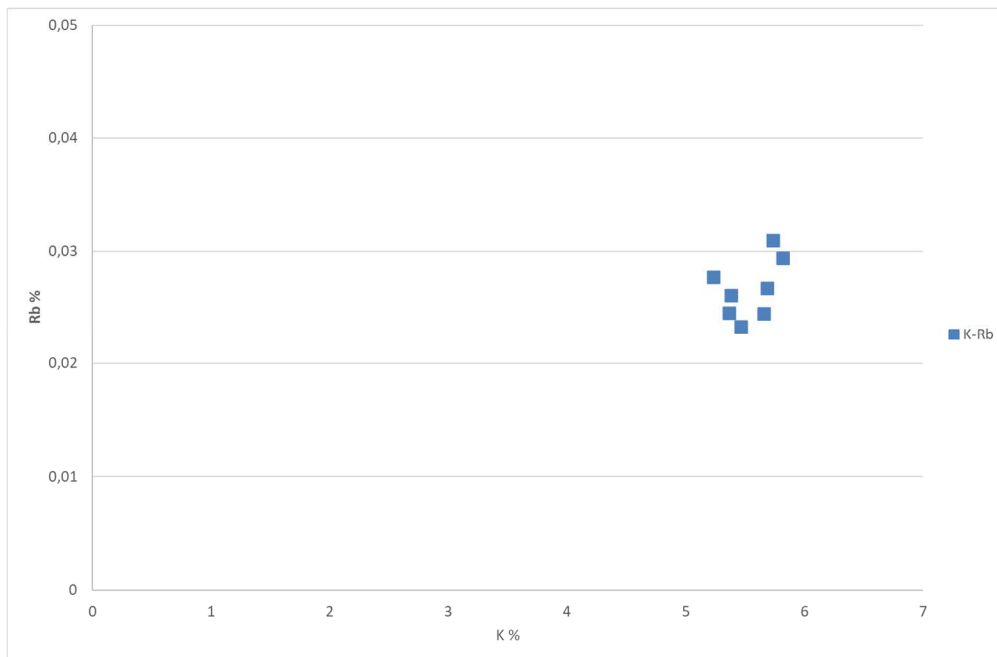


Fig.1D:5. Diagram över P-ED-XRF-data för halten av K och Rb i åtta prov från sju Fjugestugnar.

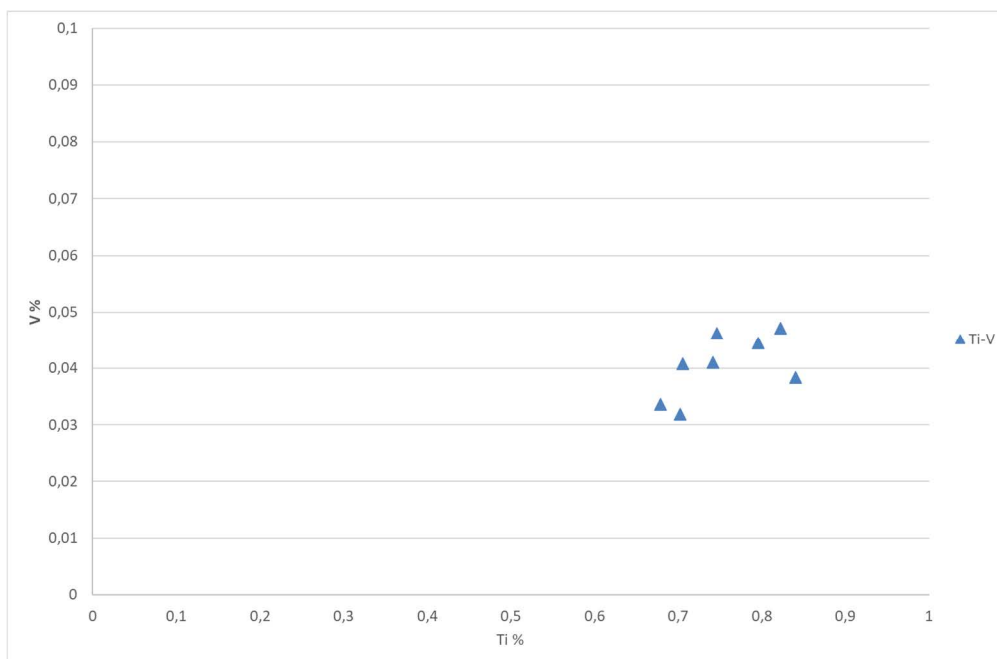


Fig.1D:6. Diagram över P-ED-XRF-data för halten av Ti och V i åtta prov från sju Fjugestugnar.

Resultaten visar på en mycket stor överensstämmelse mellan samtliga prov. Utliggaren (lägre Si) i figur 1D:3 (grövre leran A945) avviker också lite från trenden i K-Rb i figur 1D:5, vilket tillsammans med bristen på observation av diatomeer i provet, underbygger att det rör sig om ett lite annorlunda råmaterial. Skillnaden är dock mycket begränsat. Provet från A1446 tycks avvika från Ti-V-trenden med ett lägre V-värde (0,03) och samma prov har den lägsta uppmätta kalkhalten (fig.1D:6) medan det inte avviker i K-Rb-halt från övriga prov. Lerorna till ugnarna kommer enligt dessa resultat från samma lertäkt med mindre interna variationer som kan vara relaterade till olika djup. Vi känner inte

till den naturliga variationen bland lerorna i området (se ovan) men de sammantagna resultaten av petrografi och kemi gör det mycket sannolikt att lerråmaterialet till Fjugesta-ugnarna har samma lokala ursprung. Kombinationen av mycket god sortering och förekomsten av diatomeer i nästan alla prov pekar på att det rör sig om en lera som avsatts i vatten (sannolikt strömmande). Baserat på SGU's kartinformation (fig.1D:7) begränsar det möjligheterna till den postglaciala leran (som nästan alltid är vattenavsatt) och isälvsedimentet.

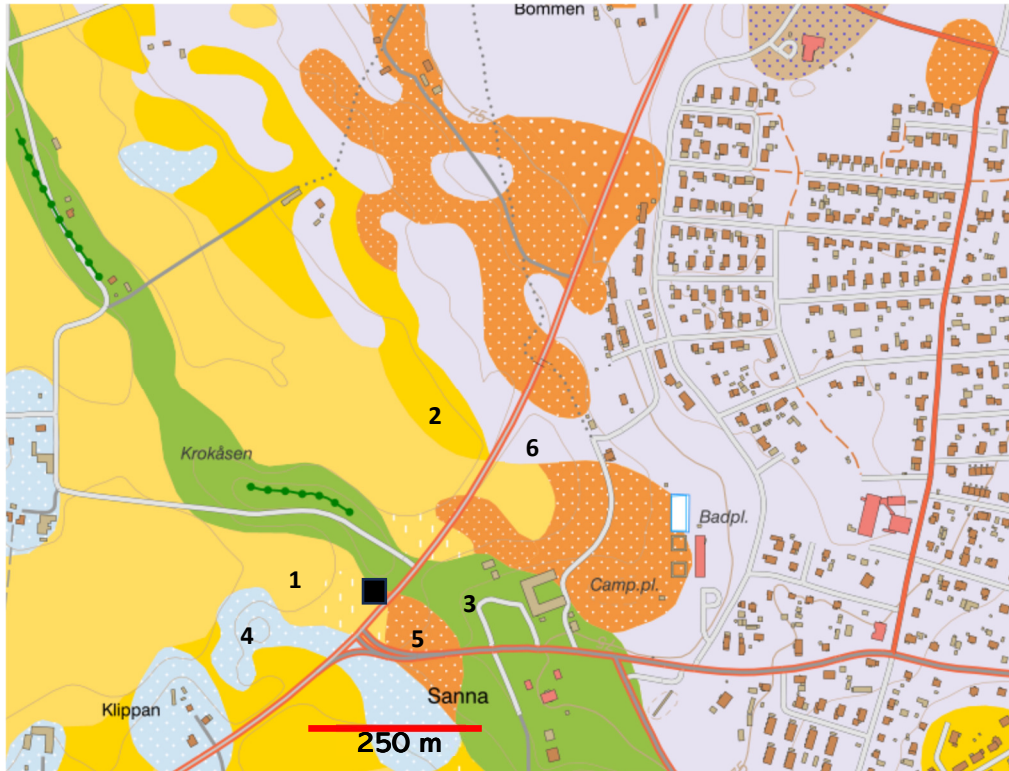


Fig. 1D:7. Jordartskarta över Fjugesta-området (SGU's kartvisare). Fyrkant indikerar fyndet. 1 : Postglacial lera, 2: Glacial lera, 3: Isälvs sediment, 4: Sandig morän, 5: Postglacial sand, 6: Moränlera.



Fig. 1D:8. Luftfoto 1960 och kartering över hög fukthalt (gulmarkering) för utgravningsområdet. Stjärna markerar blästplatsen och pil indikerar det fuktrika isälvs sedimentets utsträckning. Lantmäteriet och N. Balknäs.

Den glaciala leran är också en möjlighet men den vet vi mindre om. Med tanke på att platsen ligger närmast isälvs sedimentet är det en rimlig möjlighet att lertaget har legat inom detta område. Som trädgårdsägare just i ett isälvsområde i Dalarna har jag haft tillfälle att bekanta mig med en lerig silt som mycket väl kan vara lik proven från Fjugesta. Plasticiteten är relativt låg men borde vara tillräcklig för konstruktionen av ugnsväggar. En sammanläggning av 1960 års flygfoto med kartering av mark-

fuktighet (fig.1D:8) ger en indikation på att området kan ha varit våtmark/ängsmark på järnåldern och då varit ganska lätt tillgänglig för eftersökning av lämplig lera.

Frågan till den termiska analysen (TCT, sintringstest) är då om de termiska egenskaperna är lika homogena. Prov från A905, A945 (2), A978 och A1096 har analyserats.

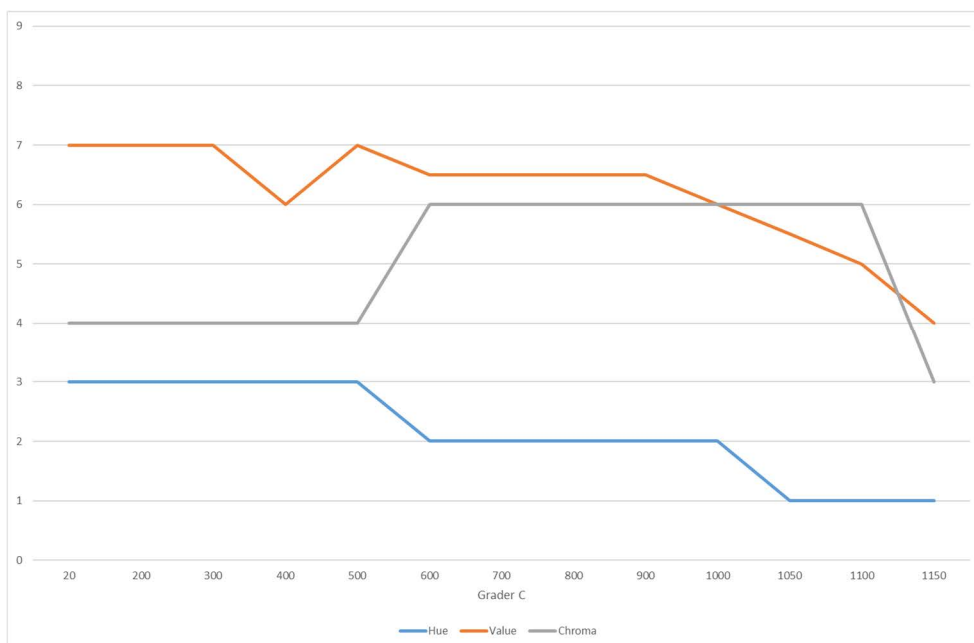
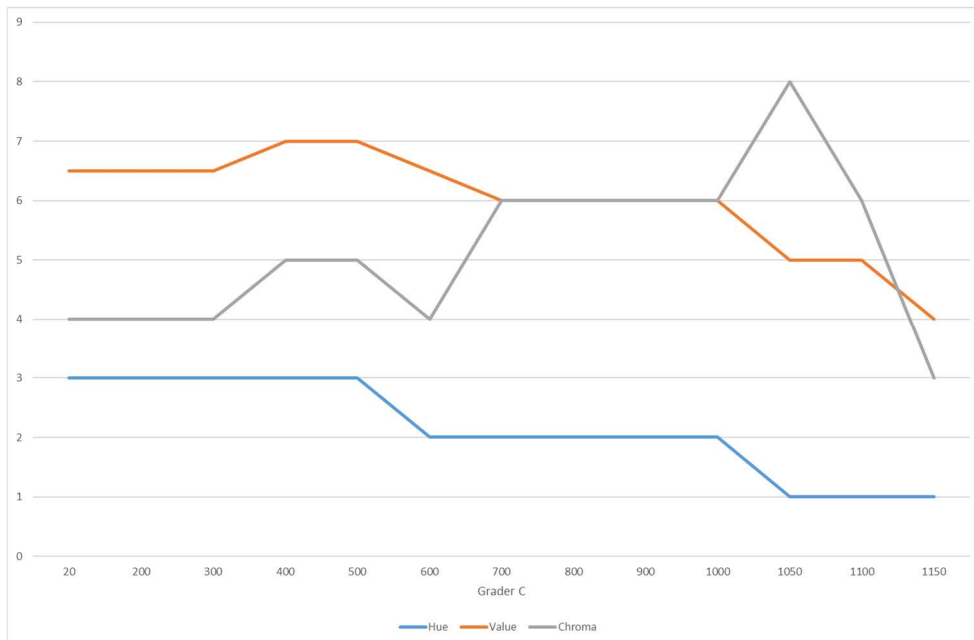


Fig.1D:9 Diagram över färgutveckling enligt TCT under återbränning av två prov från A945 (finare gods ovan, grövre gods nedan).

Figur 1D:9 visar färgutvecklingen vid återbränning av de två proven från A945 (finare respektive grövre gods) där den enda markanta skillnaden är att det grövre godset inte uppvisar den höjning av Chroma (färgens mättnad) som det finare godsprovet gör. Det grövre provet har faktiskt ett högre järninnehåll men i övrigt finns inga betydande skillnader i de kemiska analysresultaten för de färgande ämnena kalk och järn. I vilken form järnoxiden uppträder – Fe₂O₃ eller Fe₃O₄ – kan ha

betydelse. De termiska resultaten för proven A905, A978 och A1096 stämmer i övrigt väl överens med provet av finare gods från A945 och variationen måste därför ses som ringa. Detta understryks av resultaten av den för lerans funktionalitet viktigare sintringsanalysen. De visar att samtliga prov börjar visa deformations-spår vid uppvärmning till 1200°C och börjar smälta och förglasas mellan 1200 och 1300°C. Detta ligger inom den normala variationen för svenska kvartära leror.

Fjugestas ugnbyggare har därför haft en stabil tillgång på homogen lera med en antagligen ganska god plasticitet och en bra värmetålighet. Det enda möjliga orosmolnet bör ha varit de ibland stora järnoxidanhopningarna som skulle kunna försvaga ugnsväggen som en följd av järnets flussande effekt. Det ses i tunnslipen att några av dessa anhopningar har börjat förglasa under blåsbildning men det gjordes inga makroskopiska observationer av harmfula effekter av detta.

Bilaga 1E – Datark med resultat av petrografisk mikroskopering av tunnslip

Dataark för resultat av mikroskopering av tunnslip

Legend till dataark

F = fin, **M** = mellangrov, **G** = grov

S = sorterad, **O** = osorterad

-- = mkt. få, - = sällsynt, * = allmänt, + = rikligt förekommande

M = malm, **A/P** = amfiboler/pyroxener (mörka mineral), **Z** = zirkon, **Mu** = muscovit, **Bi** = biotit, **Iso** = isotropiskt mineral

G = granit, **VB** = vittrad bergart, **Ka** = kalksten, **Sa** = sandsten, **Ch** = chamotte, **Nat** = naturlig magring

\bar{X} = genomsnittligt största korn beräknad på de 5 näst största kornen.

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1390	TS 1	A882	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS1	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu
Växtfrgm	
Diat/fossil	D-, Sp--
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,35 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

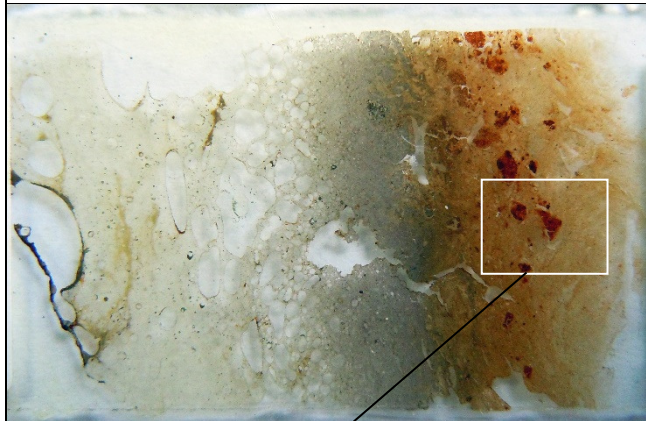
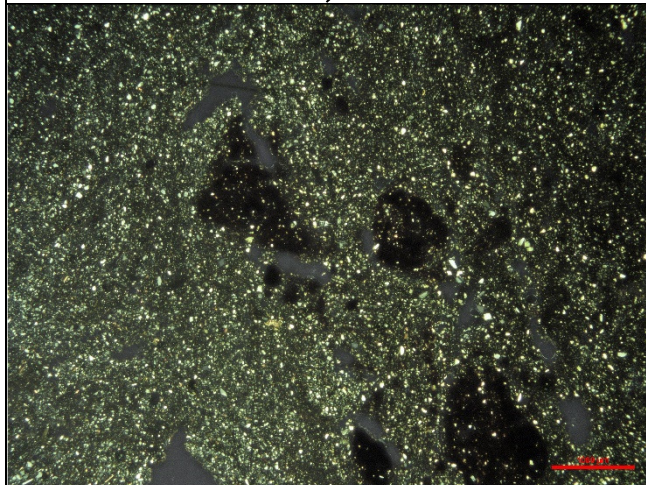
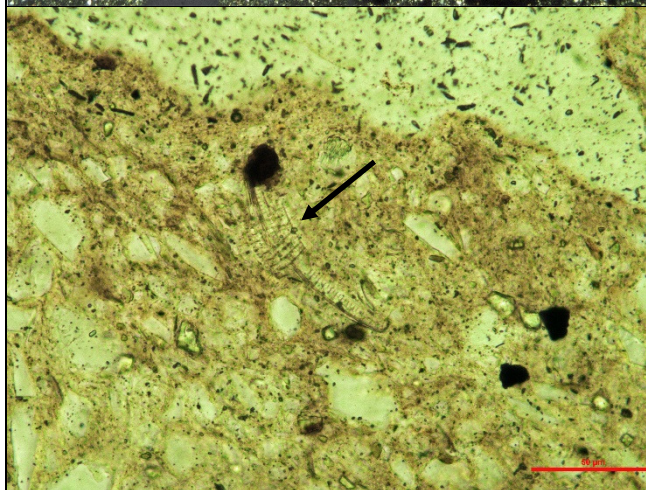


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 1.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av
diatome i TS 1.
Planpolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1283	TS 2	A905	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS2	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	--
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu, Z
Växtfrgm	
Diat/fossil	D-, Sp--
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	1,5 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	0,32 mm
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

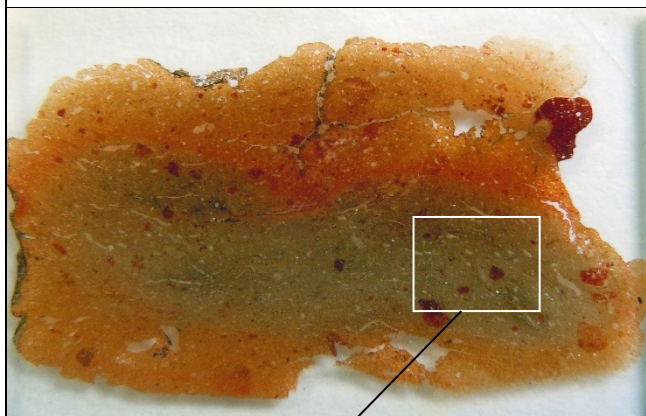
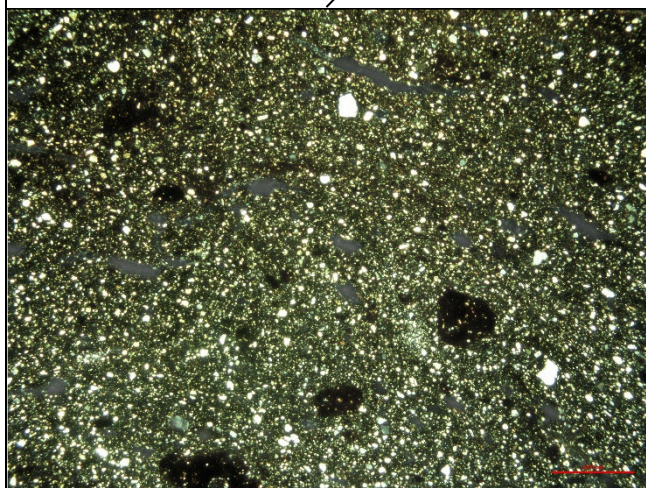
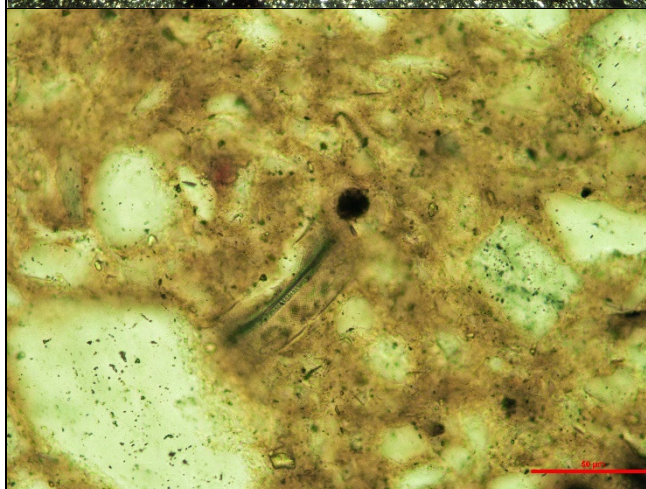


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 2.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av
diatome i TS 2.
Planpolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	I-1565	TS 3	A945	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS3	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	?
Acc. mineral	M, AP
Växtfrgm	
Diat/fossil	?
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,4 mm
Max. kstl. 2	
\bar{X} max. kstl	
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

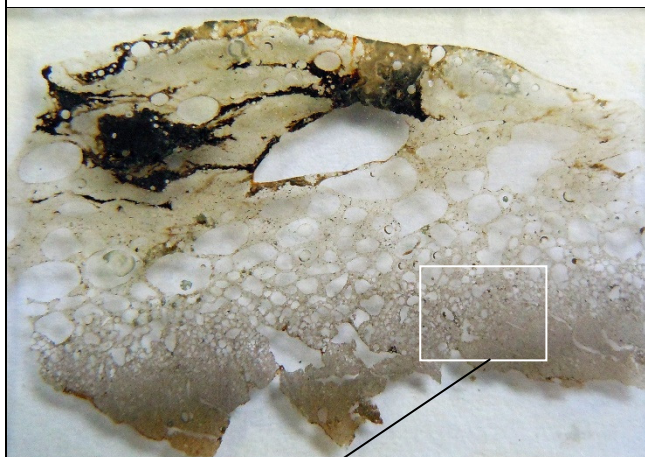
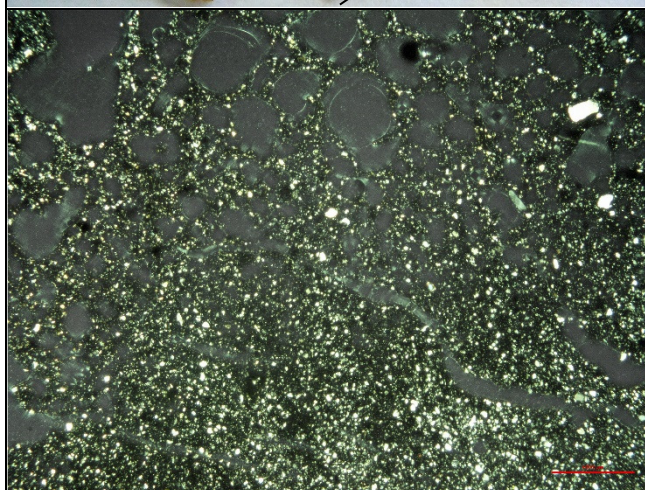


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 3.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	II -1565	TS 4	A945	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS4	
Lera	
Grovlek	F
Sortering	S
Silt	+
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	-
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu, Z
Växtfrgm	-
Diat/fossil	D--, Sp--
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,45 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	
Godsstruktur i TS:	
Tillräckligt homogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

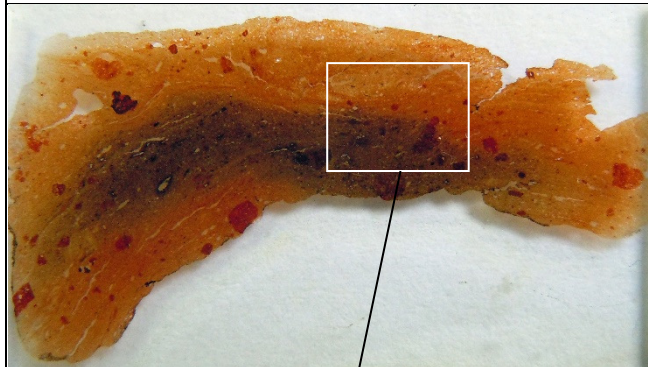
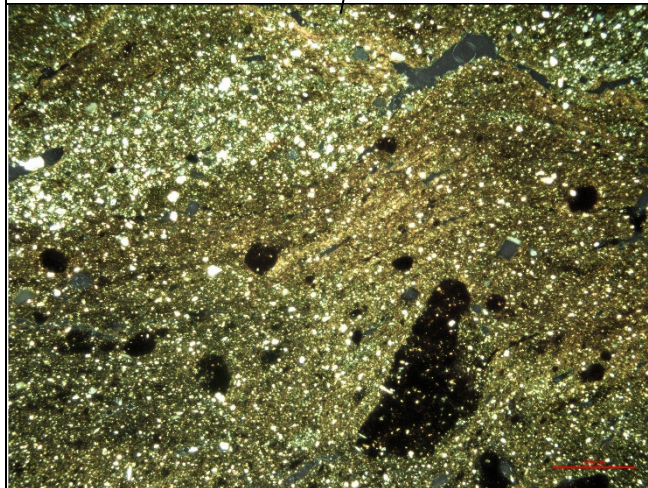
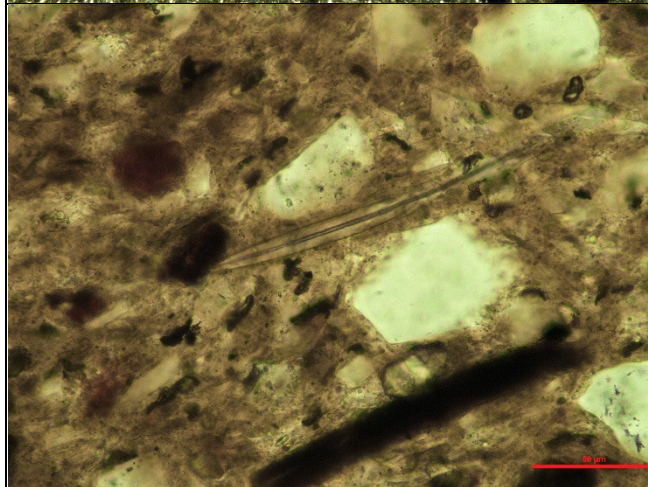


Foto av provet



Mikroskopfoto av TS 4. Krysspolariserad.



Mikroskopfoto av spongienål i TS 4. Planpolariserad.

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1563	TS 5	A978	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS5	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu
Växtfrgm	--
Diat/fossil	D--
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,4 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

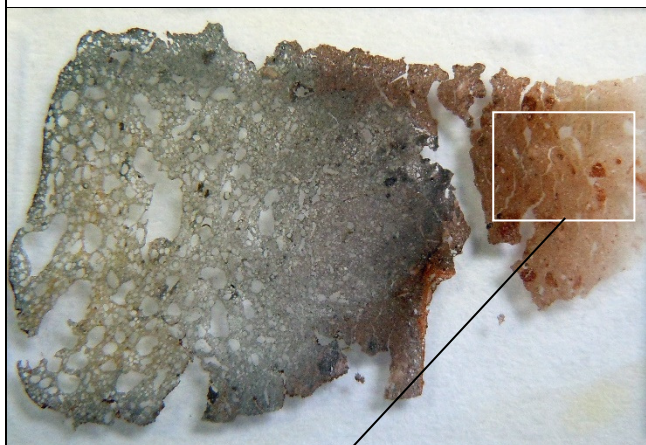
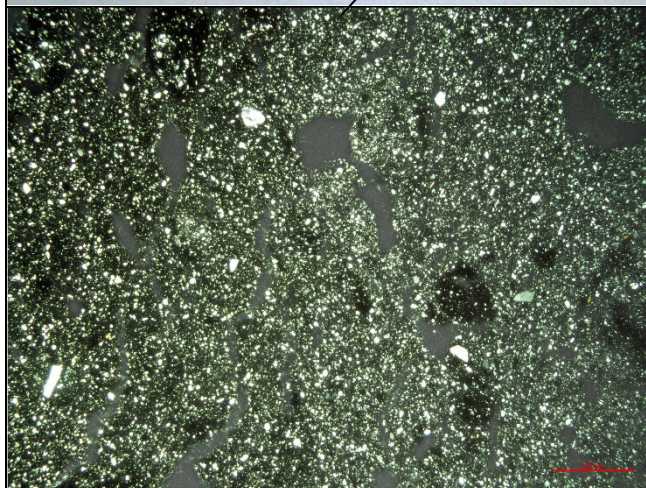


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 5.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1126	TS 6	A1096	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS6	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	--
Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu
Växtfrgm	
Diat/fossil	D-, Sp --
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,7 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	0,37 mm
Godsstruktur i TS: Välhomogeniserad. En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

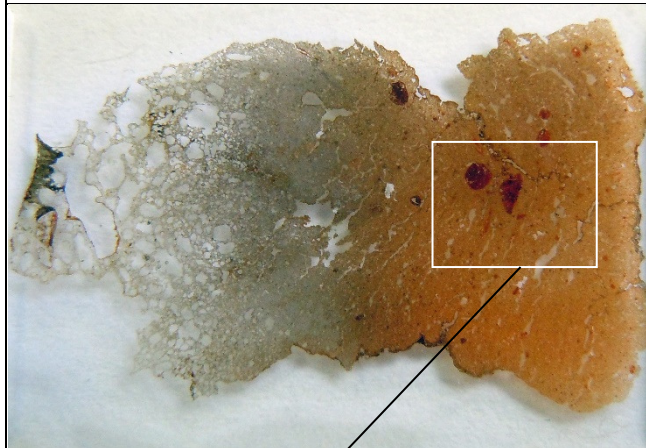
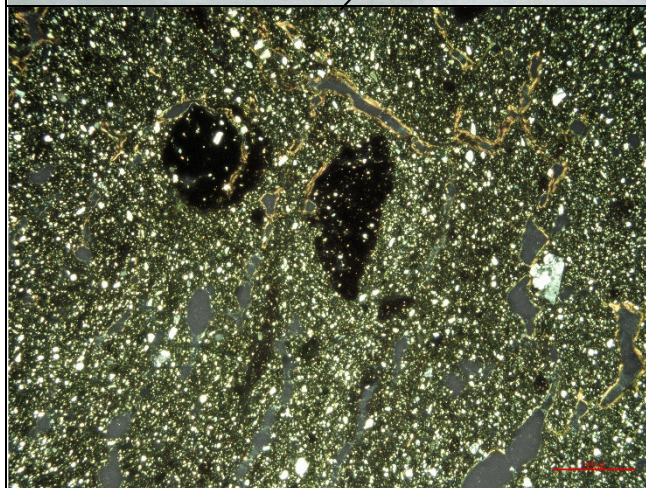
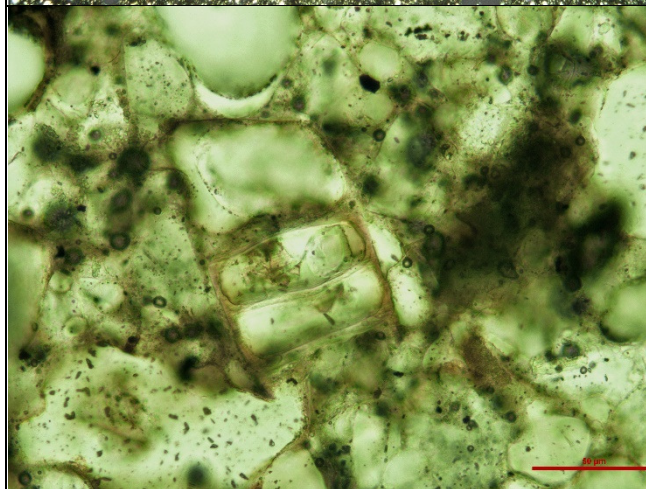


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 6.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av
diatome i TS 6.
Planpolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provrnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1459	TS 7	A1367	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS7	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	--
Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	?
Acc. mineral	M, AP, Bi, Iso, Z
Växtfrgm	-
Diat/fossil	?
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,7 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	0,43 mm
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

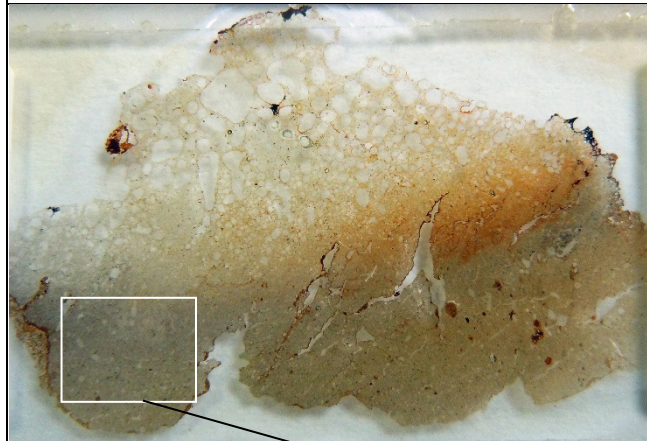
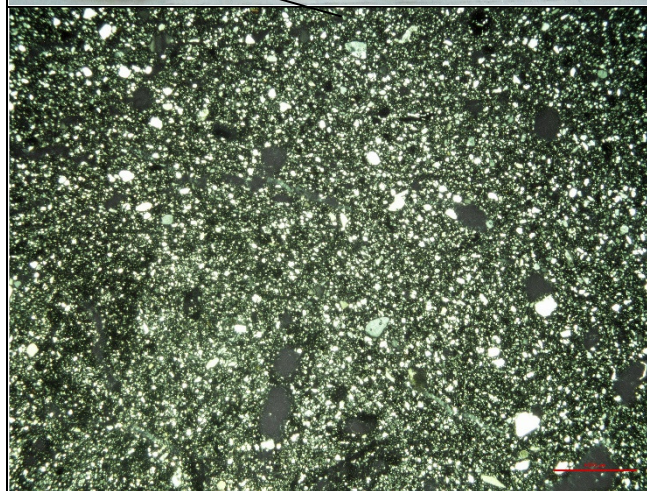


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 7.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1530	TS 8	A1375	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS8	
Lera	
Grovlek	F
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	+
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu, Z
Växtfrgm	
Diat/fossil	D--, Sp -
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,45 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	
Godsstruktur i TS:	
Välhomogeniserad.	
En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

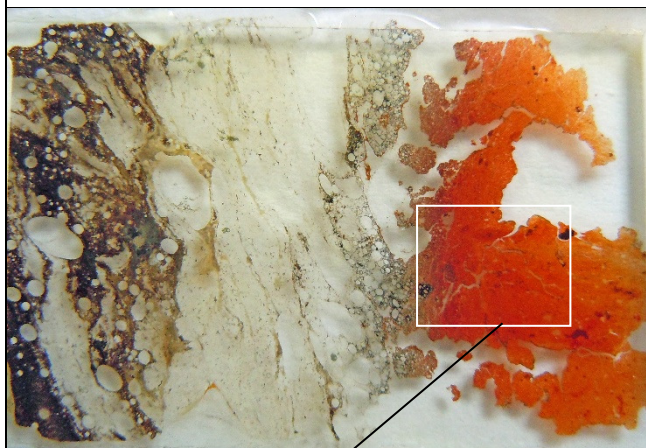
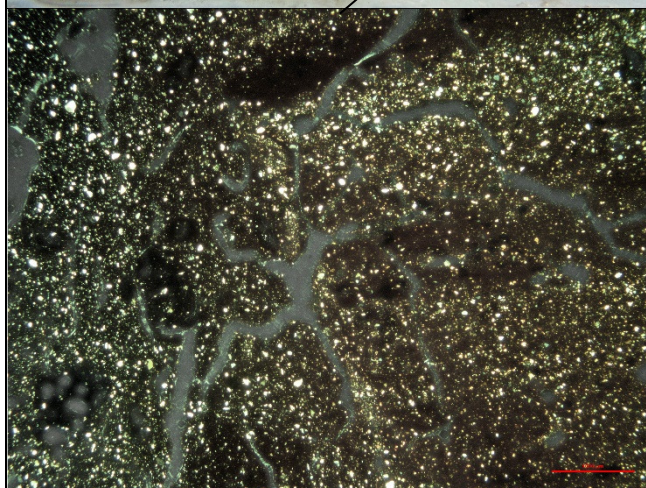


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 8.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1479	TS 9	A1402	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS9	
Lera	
Grovlek	M
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	--
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu, Iso, Z
Växtfrgm	*
Diat/fossil	D*, Sp -
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	1 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	0,54 mm
Godsstruktur i TS: Välhomogeniserad. En del ferrihydroxid	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

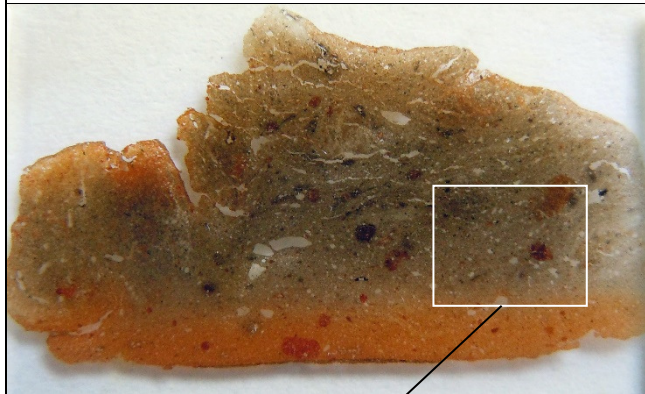
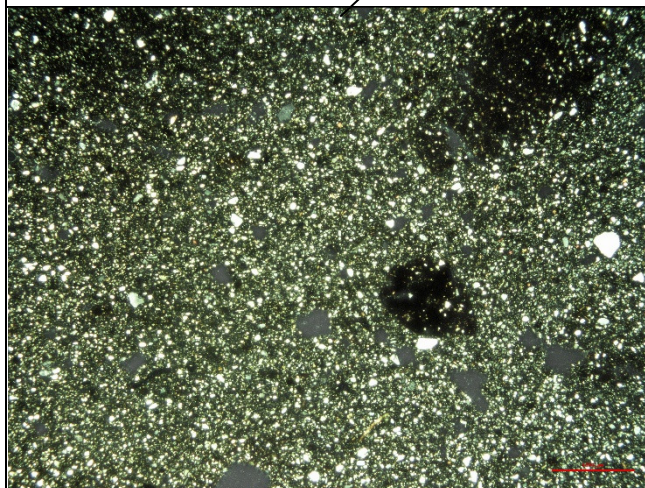
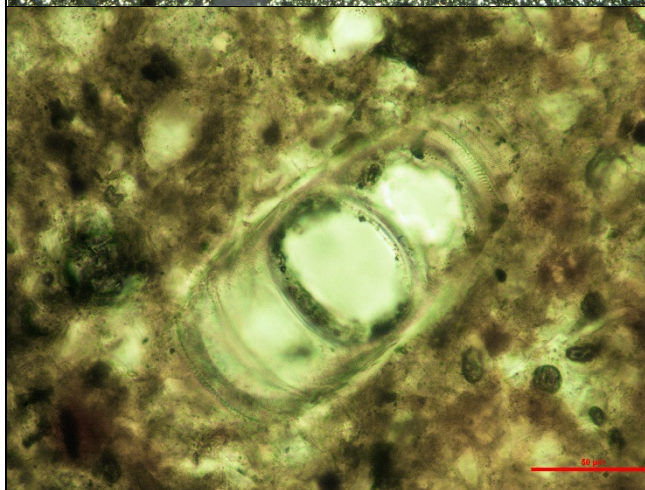


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 9.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av
diatome i TS 9.
Planpolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	1467	TS 10	A1430	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS10	
Lera	
Grovlek	F
Sortering	S
Silt	++
Finsand	-
Sand	
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	*
Acc. mineral	M, AP, Bi, Mu, Iso, Z
Växtfrgm	-
Diat/fossil	D--
Magring	
Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	0,25 mm
Max. kstl. 2	
X max. kstl	
Godsstruktur i TS: Välhomogeniserad.	

Provbeskrivning

Ugnsvägg

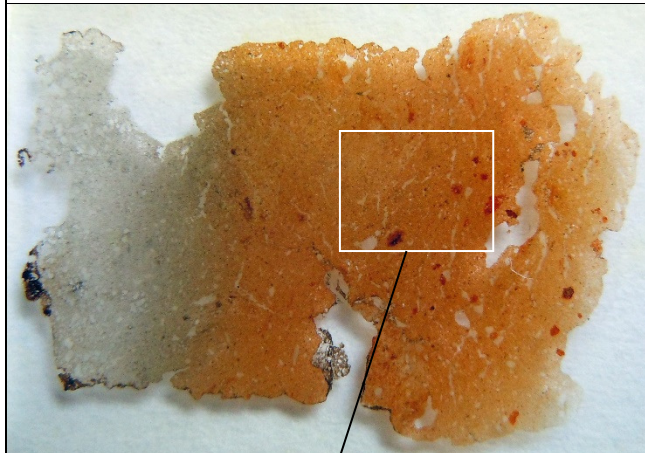
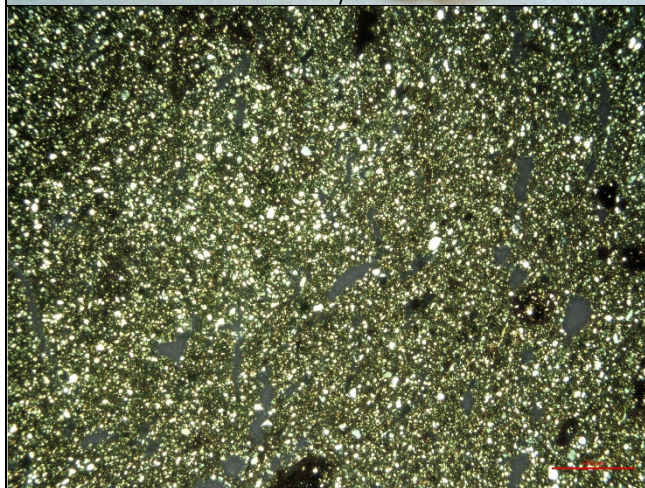


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 10.
Krysspolariserad.*

Bilaga 2. Analys av slagg och järn från Fjugesta

Lena Grandin, Arkeologerna, Statens Historiska Museer, med bidrag av Erik Ogenhall och Jens Heimdahl

Bilaga 2. Analys av slagg och järn från Fjugesta	1
Bilaga 2A. Analysmetoder för slagg och metall (L. Grandin och E. Ogenhall) ..	2
Bilaga 2B. Registrering av slaggar (L. Grandin)	5
Bilaga 2C. Analys av slaggar.....	7
Bilaga 2D. Registrering och analys av metalliskt järn.....	39
Bilaga 2E. Kemisk analys av slagg. Analystabell, diagram och utvärdering ...	44
Bilaga 2F. Makroskopisk bedömning av stråavtryck i slagg (J. Heimdahl)	55

Bilaga 2A. Analysmetoder för slagg och metall (L. Grandin och E. Ogenhall)

Provtagning och analys

Slagger, t.ex. från järnframställning eller smide, provtas för kemisk analys genom att ett avsågat stycke skickas till ett kemilaboratorium (ALS minerals). Slaggen undersöks även i mikroskop (tunnslip) för att exakt se vad som analyserats kemiskt och hur den är uppbyggd.

Tunnslip tillverkas (externt i Bratislava) av en bortsågad skiva av slaggen som limmas på ett objektglas och slipas/poleras ned till ett mikroskopiskt tunt prov (ca 0,03 mm). Sågsnittet placeras och orienteras vanligen så att tunnslipet kommer att innehålla både slaggens yta samt dess inre så att alla ingående delar representeras.

Syftet med analysen är bland annat att få kännedom om slaggenas kemiska sammansättning vilken antyder vilken malm som har använts. För reduktions- respektive smidesslagger är det viktigt att man endast analyserar material som är resultat av framställnings- eller smidesprocessen. Det innebär att andra komponenter såsom bränd lera från eventuella ugn- eller ässjeväggar eller sandigt och grusigt material som smält fast från underlaget inte får ingå. Dessa material har inte aktivt deltagit i processen och har inte heller sitt ursprung i den malm som använts. Sådant material tas bort i provprepareringen så att endast slagghalten ingår i proverna som analyseras kemiskt.

Rutinmässigt undersöks kemiskt analyserade slagger också i mikroskop för att exakt veta vad som har analyserats och för att kunna se hur slaggen är uppbyggd. Det är också möjligt att särskilja slagger som stelnat innanför blästugnens väggar från dem som runnit ut och stelnat utanför, s.k. tappslaggar, samt slagger från smide.

Järnprov gjuts in i en plastpuck som slipas, poleras, etsas och analyseras i mikroskop samt i vissa fall i elektronmikroskop (se separat beskrivning).

Allmänt om använda analysmetoder

Petrografisk och metallografisk analys av slagg och järn

Analyserna utförs i påfallande (planpolariserat) ljus för att identifiera materialets olika komponenter och texturella drag. Undersökningarna görs i ett Zeiss Axioskop 40A polarisationsmikroskop (upp till 500x förstoring) utrustat med integrerad datoransluten kamera (Zeiss AxioCam MRc5) för kontinuerlig digital dokumentation av analyserna.

Slagg består huvudsakligen av mineralen *olivin* och *wüstit* samt av *glas*. Förekommande mineral är också *magnetit*, *leucit*, *hercynit*, *limonit* och ofta finns även en mindre mängd metalliskt järn närvarande. Olivin är ett silikatmineral med den allmänna formeln A_2SiO_4 , där A oftast är järn (fayalit) men även mangan, magnesium (forsterit) och kalcium kan förekomma i mindre mängder. Olivinerna uppträder ofta som lamellformade kristaller. Järnoxiden *wüstit*, FeO, är också ett mycket vanligt inslag i framför allt blästugnsslaggar och bildas vid reduktion av hematit och/eller magnetit, och reduceras själv till metalliskt järn. Om höga koncentrationer av wüstit förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög (och tvärtom). Glas utgör slaggenas "restsmälta" och kan variera kraftigt i sammansättning. Järnoxiden *magnetit*, Fe_3O_4 , kan förekomma i stället för wüstit om temperatur och/eller syretryck är tillräckligt högt och ibland förekommer ännu mer oxiderade järnfaser som *hematit/maghemit* (Fe_2O_3) på slaggens yta. Detta innebär att det är möjligt att särskilja slagger som stelnat i eller utanför en ugn (bottenslagg eller tappslag). Magnetit är också vanligt i smidesslaggar. Höga aluminiumhalter i kombination med höga kaliumhalter återfinns i mineralet *leucit*, $KAlSi_3O_6$, som i vissa slagger kan förekomma i stället för den vanligare glasfasen. Mineralens kornstorlekar är också betydelsefulla där finkorniga slagger visar snabb avkylning och grovkorniga långsam avkylning.

Järnprov poleras och undersöks först med avseende på eventuellt slagginnehåll, därefter etsas järnet med 2 % nitallösning. Denna påverkar metallen olika beroende på sammansättning och metoden används bl.a. för att bedöma kolinnehåll i järn; om det är ett mjukt kolfritt järn, stål (med upp till 2 % kol) eller gjutjärn, som innehåller över 2 % kol. Termer som används för att beskriva järn inkluderar *ferrit* som är det mjuka (rena) järnet utan kol, *cementit* som är en förening av järn och kol (Fe_3C , kallas även järnkarbid), och *perlit* som är en struktur (textur) uppbyggd av lameller med omväxlande ferrit och cementit. I grått gjutjärn finns även bl.a. *grafitlameller* eller *grafitfäll* som är tunna skivor av rent kol. En struktur som kan bildas vid avsvälning i vitt gjutjärn är *ledeburit*, som består av en blandning av cementit och perlit. Generellt medför en större mängd perlit en högre kolhalt och ett

hårdare järn. Det har tidigare ansetts att stål inte var den önskade produkten från blästugnar utan snarare ett tecken på en okontrollerad process. De senaste tjugo årens undersökningar visar dock att stål förekommer på ett stort antal platser också i den vidare bearbetningen av det tillverkade järnet.

Innehåll av bl.a. fosfor och nitridnålar i järnet kan också observeras i mikroskopet. Fosforinnehåll syns vanligen som en överpräglade dendritisk textur. Innehåll av kol och fosfor i järnet tyder på hög (och jämn) temperatur och goda reduktionsförhållanden i allmänhet. Fosfor (i låg halt) gör t.ex. ett kolfritt/lågkolhaltigt (ferritiskt) järn hårdare men ferritens seghet behålls. Höga halter av fosfor är dock negativt för järnets kvalitet.

Det är också möjligt att se hur järnet har bearbetats, t.ex. om olika stycken har sammanfogats. En sådan vällning skapar ibland en söm, eller en fog som syns som en avvikande linje i provet och ibland också kantas av slagg.

Man kan också urskilja olika värmebehandlingar som härdning, dvs. en upphettning med påföljande snabb avkylning i t.ex. vatten. Den då bildade strukturen kallas *martensit*. Ett härdat stål kan också anlöpas (uppvärmning utan snabb avkylning) för att minska sprödheten och omforma martensiten. Glödgning, uppvärmning utan snabb avkylning av icke härdat stål, kan ses i form av cementit som antagit rundare former (sfäroidisering) och leder till ett mjukare och mindre sprött stål.

Totalkemisk analys av slagg

Totalkemiska analyser av slaggar utförs av ALS minerals. Använda analysmetoder är huvudsakligen ICP-AES för huvudämnen (oxider) och några metaller och ICP-MS för spårämnen inklusive s.k. sällsynta jordartsmetaller. Totalt analyseras 59 ämnen i varje prov. Hela resultatet presenteras i tabellform (Bilaga 2:E) där huvudämnen anges som oxider och övriga som rena ämnen, även om dessa egentligen förekommer i mer komplexa former.

Syftet med kemiska analyser av slaggar och malmer i allmänhet är att få kännedom om ingående huvudämnen, t.ex. järn och kisel, men också ämnen som förekommer i lägre halt eller bara som spårämnen.

I all slagg från järnframställning (reduktionsslagg) och smide dominerar järn och kisel och i reduktionsslaggar är halterna ett generellt mått på hur processen fungerat; lägre järnhalt innebär bättre utvinning ur malmen. När det gäller smidesslagg (sekundärsmide) kan hög järnhalt vara ett tecken på att metalliskt järn tillkommit till slaggen under smidet (oxiderat till slagg) och spårämnen som kan förekomma i metallen följer med till slaggen. Hög kiselhalt kan betyda tillsättning av vällsand (kvarts, Si-rik). Det senare kan också leda till att den kemiska signaturen blir utspädd, d.v.s. att andra ingående ämnen minskar i koncentration. Ofta förefaller dock smidesslaggar ha en kemi relativt lik den hos reduktionsslaggar.

När det gäller limonitmalm är syftet med den totalkemiska analysen bl.a. att fastställa järninnehållet, vilket avgör materialets kvalitet som malm (en bra malm ska ha ett högt järninnehåll och en god järnmalm kan innehålla upp till 62 % järn, samt kisel som bidrar till slaggbildningen). Det rapporterade järninnehållet (som Fe_2O_3) omfattar allt järn. I malmer, speciellt orostade, ingår också vanligen järn(oxid)hydroxider. Andelen kan indirekt uppskattas med hjälp av den uppmätta glödförlusten (LOI i tabellen i bilaga 2:E), och kan innebära att malmens totala järnhalt kan vara högre (samma storleksordning som glödförlusten).

Även innehållet av andra ämnen, t.ex. mangan, fosfor och flera spårämnen, vilka kan indikera malmens ursprung, är viktiga att analysera. Om en malm innehåller exempelvis mangan (Mn), vilket är vanligt i sjö-, myrmalm och rödjord (dvs. limonitmalmer), så koncentreras denna i slaggen under järnframställningen medan endast små mängder följer med till järnet, vilket leder till att smidesslagg (som delvis har sitt ursprung i järnet och vällsanden) vanligen har lägre halt mangan. Dock kan slagg från järnframställning också ha mycket låga manganhalter om malmen från början varit manganfattig.

Kalium (K) i slaggen kan komma från bränslet (träkol) men också från lera i infodringen. Den senare kan även bidra med aluminium (Al).

Slagg från primärsmide, och från en fällsten, har huvudsakligen en sammansättning som motsvarar den hos reduktionsslagg.

Smidesslaggar som bildas då (ämnes)järn som är rena och nästan utan slagginneslutningar, kan också förväntas vara rena i sin sammansättning, dvs. de ämnen som är vanliga i reduktionsslaggar och lever kvar i slagginneslutningar (som mangan, fosfor, aluminium, kalium) förväntas vara låga.

Notera att ytterkanter av material som hör till infodring eller inblandning av annat material från t.ex. härdens botten inte är inkluderat i analysen, utan endast slaggdelen ingår.

Ämnen som förekommer i betydligt lägre halter, s.k. spårämnen (nedre delen av analystabellen) kan vara av betydelse för att jämföra slagger med varandra (och med malmer) för att se om det finns ett gemensamt ursprung, och om detta kan kopplas till någon specifik geologisk/geografisk miljö. Bland dessa finns t.ex. barium (Ba) som ofta är korrelerat med manganinnehållet (Mn).

Några spårämnen som kan vara intressant att notera är vanadin (V), kobolt (Co) och nickel (Ni). De förekommer i olika nivåer i malmer och kan spegla lokala variationer i malmer (geologiskt och geografiskt kopplade). När de förekommer i malmerna som används fördelar de sig mellan slagg och metall i samband med järnframställningen.

När de uppträder i det metalliska järnet kan de också anrikas lokalt på de metallytor som bearbetas; då järnet oxideras lättare kan de öka proportionellt – det är inte ovanligt att man ser förhöjda nickelhalter i vällfogar. Därmed kan dessa ämnen, i ytan på metallen, också följa med till slaggen i smideshärden. Förekomsten speglar därmed flera steg i processen och förutsätter att de finns i malmerna till att börja med och om de uppträder i smidesslagger kan de ha kommit dit på olika vägar.

Även gruppen av jordartsmetaller (Rare Earth Elements – REE) är värda att studera mer noggrant. Förekomsten av dessa är också beroende på förekomst i den malm som ursprungligen har använts. Under järnframställningen så anrikas dessa i slaggen vilket betyder att järnet som bildas samtidigt generellt har en lägre halt av REE. När detta järn senare oxiderar, och i vissa fall utgör en stor del av efterföljande (smides)slaggen bidrar de med låg halt REE till den nya slaggen vilken därmed speglar en urlakning av REE jämfört med i reduktionsslaggen.

Bilaga 2B. Registrering av slagger (L. Grandin)

Slagger som är uppbyggda av stearinformade slaggrängar, alltifrån enstaka tunna till ett fåtal tillsammans utgör en stor del av det totala slaggmaterialet från platsen. Sådana slagger är vanliga i blästugnar med underliggande slagguppsamlingsgrop. Även enstaka större slagger som är uppbyggda av många stearinformade strängar förekommer.

Tabell 2:1. Sammanställning av några karaktäristiska drag för slagger från Fjugestas ugnar.

Ugn	Total vikt slagg (g)	Diameter (m)	Djup (m)	Stora slagger	Små slagger	Färg	Avtryck 1	Avtryck 2	Annat	Analys slagg
847	2466	0,7	0,12	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Mörk dominerar	Stråavtryck	Kol	Stråavtryck diffusare än i A945	A
865	6937	0,65	0,15	Ej obs	Stearinslagger, platta	Ljus	Rundat trä (långsmalt?)	Slagg		
874	4434	0,6	0,25	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Ljus dominerar	Ej obs	Ej obs		
882	2857	0,6	0,15	Ej obs	Stearinslagger, tunnare o grövre	Ljus	Kol	Sten	Sammanmält med ugnsvägg	A1
905	11191	0,6	0,2	Fåtal bottenslagger	Stearinslagger, tunna dominerar. Rikligt med droppar.	Ljus och mörk (separat?)	Sten	Ved/kol		A
913	1745	0,6	0,12	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Mörk	Ved (Kol)		Vittråd yta	
937	937	0,6	0,06	Ej obs	Stearinslagger, tunnare o grövre	Mörk			End få slagger, utan spec många särdrag	
945	29 189	0,9	0,35	Del av bottenslagg, porös	Stearinslagger, tunna	Ljus (mörk) (separat)	Stråavtryck	Ved/kol	En magnetisk klump	A2, A5
970	11911	0,75	0,2	Del av bottenslagg	Stearinslagger, varierande	Mörk	Sten (Vägg)	Ved/kol	Ytterkurvatur på bottenslagg.	A
978	13 477	0,75	0,3	Fåtal bottenslagger	Stearinslagger, tunna	Mörk	Kol			A
988	2925	0,55	0,15	Ej obs	Stearinslagger, tunnare o grövre (platta)	Mörk	Ved		Skrynklig överyta	
1042	6 739	0,6	0,22	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Ljus dominerar	Ved			
1096	26993	0,7	0,45	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Mörk dominerar	Ved	Kol	Magnetiskt (hopkittat) på slagg	A
1313	4729	0,6	0,2	Fåtal bottenslagger	Stearinslagger, tunnare o grövre	Mörk	Kol/ved		Magnetiska klumpar	
1328	20321	0,65	0,17	Fåtal bottenslagger	Stearinslagger, grövre, tunna	Mörk	Ved			
1335	12858	0,8	0,25	Del av, tät. Övergång till stearinslagg.	Stearinslagger, tunna	Mörk dominerar	Ved	Sten		A
1358	21179	0,8	0,3	Större med pålagrade stearinslagger	Stearinslagger, tunnare o grövre	Mörk	Ved		Magnetiska klumpar	
1367	14693	0,65	0,3	Fåtal bottenslagger	Stearinslagger, tunnare o grövre	Mörk dominerar	Ved	Sten	Magnetiska klumpar. Skrynklig överyta på stearinslagger	A
1375	3422	0,6	0,3	Del av, porös	Stearinslagger, grövre	Mörk	Kol		Stearinslagg mot lera. Vittråd porös yta.	
1392	4845	0,8	0,35	Ej obs	Stearinslagger, tunnare o grövre	Mörk	Fåtal långsmala (strån/pinnar?)	Kol	Magnetiska klumpar	A
1402	744	0,35	0,1	Ej obs	Stearinslagger, tunna (och enstaka droppar)	Mörk	Kol		Magnetiska klumpar	
1420	144	0,45	0,08	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Mörk	(Kol)		End få slagger, utan spec många särdrag	
1430	1986	0,7	0,2	Ej obs	Stearinslagger, tunna	Mörk	Ved		Magnetiska klumpar	
1446	3409			Ej obs	Fåtal stearinslagger	Mörk dominerar			Blandat material	

Färg och storlek

Bland slaggerna finns såväl ljusare som mörkare varianter. I de flesta ugnarna är det antingen ljusa eller mörka slagger. Men, i några ugnar förekommer såväl ljusare som mörkare slaggrängar (t.ex. A945 och A1096), dock sällan i samma slagglump. Från blästugnar med slagguppsamlingsgrop generellt är det dessutom vanligt med större volymer bottenslagger. Dessa är dock mindre frekventa i ugnarna från Fjugesta. Exempel på sådana finns dock från A945 samt från gruppen av ugnar i söder (A1328, A1335 och A1358).

Avtryck

Från flera av ugnarna finns det slagger som har tydliga långsmala vedavtryck (eller pinnar). I slagger från andra ugnar är avtrycken mer sparsamma eller utgörs av mindre kolbitar. Slaggerna från A945 har dock en annan typ av avtryck, med tätt liggande parallella, strån (knippen av gräs/vass/tåg?). I

mindre omfattning förekommer stråavtryck även i slagger från A847. Denna typ av tunna avtryck är tämligen ovanlig, men har tidigare noterats på ett fåtal platser i landet.

Mängd och form (typ)

Slaggmängden från de undersökta ugnarna varierar. Totalt finns ca 210 kilogram slagg. Alltifrån 150 gram till närmare 30 kilogram fanns i respektive ugn (Tabell 2:1) vilket innebär att materialet inte kan jämföras på helt lika villkor. Från de flesta av ugnarna finns dock mer än 2 kilogram slagg.

Bland slaggerna är det, oavsett mängd i respektive ugn, de karaktäristiska stearinformade slaggerna som dominerar. Det rör sig om alltifrån enstaka tunna slaggsträngar till ett fåtal tillsammans. Många är tunna, medan ett fåtal är något tjockare i tvärsnitt. I flera ugnar har också större slaggar byggts upp av ett stort antal tunna slaggsträngar, där dessa har kylts av och stelnat efterhand som de runnit ner i slagguppsamlingsgropen, ofta med tunnare slaggsträngar i de nedre delarna och något tjockare i de övre. De små strängarna som har stelnat tidigt har delvis hindrat efterföljande slagg att fylla ut utrymmet. Större bottenlagger (eller snarare delar av sådana) är observerat endast i ett fåtal ugnar: A945 samt från gruppen av ugnar i söder (A1328, A1335 och A1358). Huruvida större bottenlagger har bildats i de ugnar där endast små mängder slagg har påträffats är oklart.

Det förekommer även mer trögflutna slaggar, men endast i mindre omfattning. En del av dessa är magnetiska vilket antyder att de kan innehålla en del metalliskt järn och har därför studerats mer detaljerat. Flertalet av dessa delades, men många av dem visade sig mest innehålla rost. Dessa är därmed inte lämpliga för analys för att studera metallen. Denna genomgång visar dessutom att innehållet av metalliskt järn i slaggerna generellt är lågt. Ur produktionssynpunkt är det bra, dvs. med liten förlust av metall. Men det gör det svårare att hitta metall att analysera för att få en inblick i vilken typ av järn som tillverkades. Inledningsvis prioriterades magnetiska klumpar från de ugnar varifrån slagg och/eller ugnsvägg hade valts för analys. Men, de flesta saknade metall varför vi fick välja de klumpar där det finns metall kvar oavsett kontext (se tabell 2:2).

Tabell 2:2. Prover från respektive ugn som har valts ut för analys.

Ugn	Slagg (A)	Teknisk keramik (B)	Metall (C)
847	x		
874		x	
882	x	x	
905	x	x	
945	x	x	
970	x		
978	x	x	x
1042			
1096	x	x	x
1313			
1328			
1335	x		
1358		x	
1367	x	x	
1375		x	
1392	x		
1402		x	x
1430		x	x
1446		x	

Bilaga 2C. Analys av slagger

I denna bilaga beskrivs inledningsvis de slagger som har valts ut för analys. För varje ugn och slagg presenteras en beskrivning av yttre former på hela slaggen och i delat tvärsnitt, med foton som illustrerar de karaktäristiska dragen. Därefter följer en beskrivning av de tunnslip som har analyserats i mikroskop. De mikrofoton (Fig. 2C:13) som hör till respektive slagg visas i eget stycke för att man lättare ska kunna jämföra dem inbördes, men finns också i anslutning till respektive slagg som ett utdrag ur den större figuren. För varje slagg visas en översiktsbild och en detaljbild. Analysdelen inleds med en kort allmän beskrivning på hur slagger och de vanliga mineralen ser ut i mikroskop (se också bilaga 2A för allmänna termer).

Avslutningsvis finns mer kortfattade beskrivningar för slagger från andra ugnar, vilka inte har analyserats mer detaljerat.

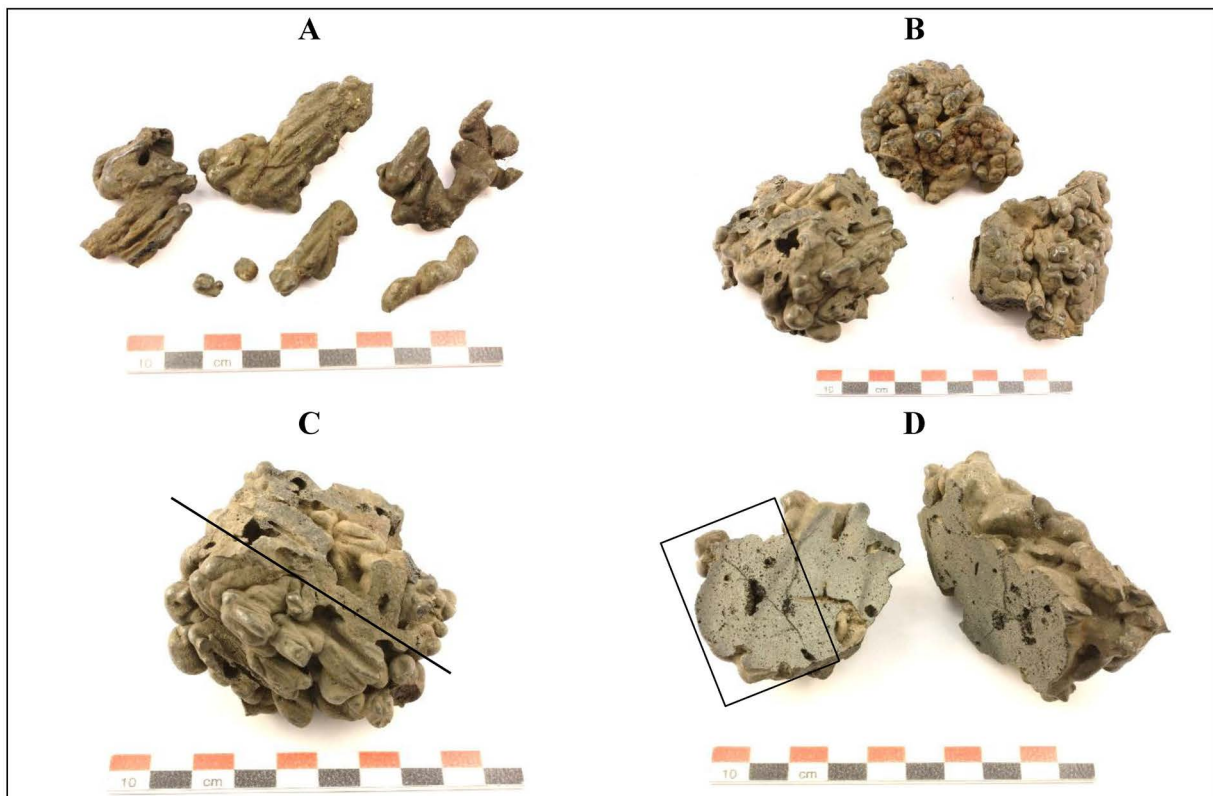
Ugn A847

Beskrivning

Slaggerna, totalt 2,5 kilogram, från ugn A847 från utgörs till stor del av dropp- och stearinformede mestadels tunna (ca 5 mm i diameter) slaggar (Fig. 2C:1A). De flesta är mörka, men ett fåtal med något ljusare yta förekommer också. Slaggar som är uppbyggda av flera pålagrade tunna slaggsträngar förekommer också (Fig. 2C:1B), men stora slaggar eller slaggar med större homogena slaggvolymmer saknas. Den största slaggen är 65×60×40 mm stor och väger 216 g.

I slaggerna förekommer frekvent tunna långsmala parallella avtryck (Fig. 2C:1C), sannolikt knippen av strån, likt i slaggar från A945, men inte lika markant som i A945. Enstaka kolavtryck kan också ses.

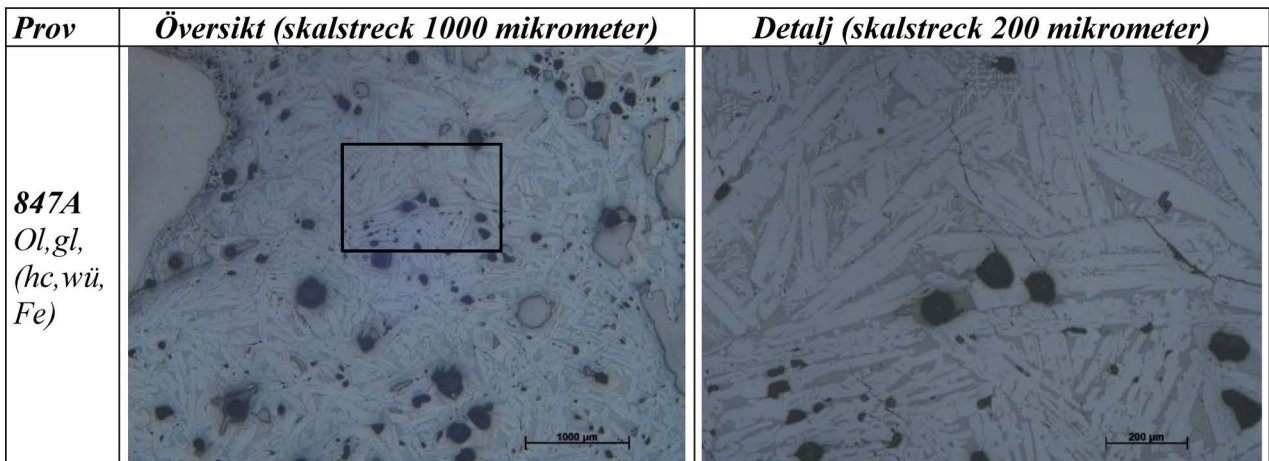
Slaggen som har valts för analys har tydligt formade slaggsträngar på ytan men i det delade tvärsnittet kan dessa bara diffust anas (Fig. 2C:1D). Slaggen (mörk) är homogen i sammansättning, med något varierande porositet, mestadels tämligen tät med enbart enstaka större hålrum. Inget metalliskt järn kan ses med blotta ögat.



Figur 2C:1. Slaggar från ugn A847. A: Små stearin- och droppformade slaggar. B: slaggar uppbyggda av flera tunna slaggsträngar. C: Detalj från B där också tunna, parallella stråvtryck ses. D: slagg från C delad (längs linjen) för analys (prov 847A) (tunnslip i rutan).

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar tydligt flera slaggsträngar trots att de diffust bara kan anas med blotta ögat. Kontakterna mellan dem ses främst med hjälp av skillnader i kornstorlek, där ytterkanterna är finkornigare (snabbare avkylning) än de mer centrala delarna i varje slaggsträng. De är likartade i sammansättning och innehåller olivinkristaller och en mellanliggande glasfas, men proportionerna mellan dem varierar något. Kristaller av hercynit är också vanligt, men i mindre mängd. Wüstit förekommer endast som finkorniga dendriter i den glasiga mellanmassan. Metalliskt järn förekommer ytterst sporadiskt i mikrometerstora droppar.



Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses, något diffust, kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: *Ol*= olivin, *gl*= glas, *wü*= wüstit, *hc* = hercynit och *Fe* = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

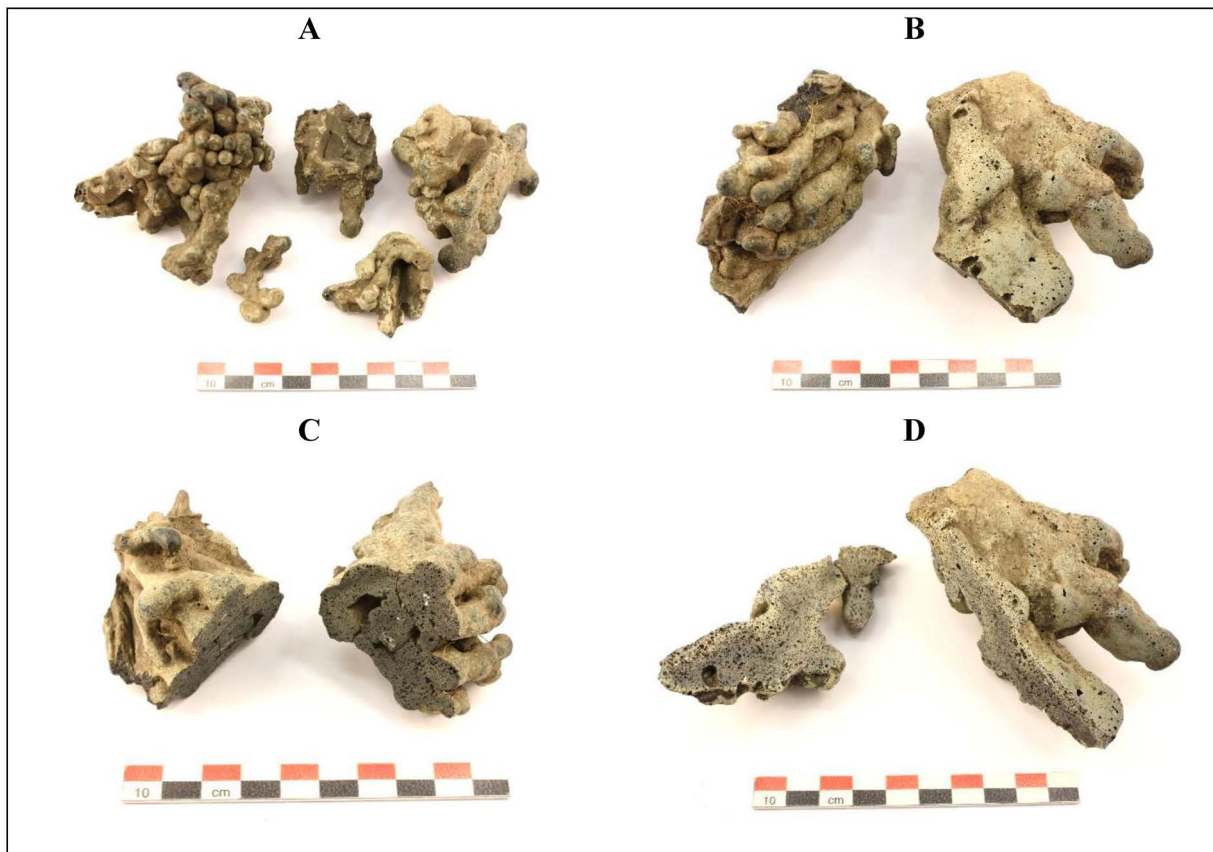
Ugn A882

Beskrivning

I materialet från ugn A882 finns enligt den ursprungliga registreringen knappt 3 kilogram slagg. Det förekommer också kraftigt värmepåverkade ugnsväggar av lera (se separat analys, Stilborg) och dessutom övergångsformer mellan vägg och slagg där dessa båda har smält samman och det i vissa fall är otydligt var gränsen mellan dem finns. Slaggerna utgörs främst av stearinformade slaggsträngar (Fig. 2C:2A); enstaka strängar såväl som större slaggar som är uppbyggda av flera pålagrade slaggsträngar (Fig. 2C:2B). Stora slaggar eller slaggar med större homogena slaggvolymmer saknas dock. De flesta slaggsträngarna är tämligen tunna, men några med tjockare strängar förekommer också (Fig. 2C:2B). De flesta är ljusa på ytan, i något fall mycket ljusa.

Avtryck efter små kolstycken, mindre 15 mm stora, förekommer liksom något enstaka plant och slätt avtryck troligen där slaggen har stelnat mot en sten.

Den största slaggen (prov 882A1) med tunna strängar mäter 85×45×40 mm och väger 209 g. Slaggen med kraftigare dimensioner (prov 882A2, analyserad) är något större: 95×80×30 mm och väger 231 g. Dessa båda slaggar har delats. De ytligt tydliga slaggsträngarna hos prov 882A1 framträder också i tvärsnittet (Fig. 2C:2C). Slaggen är mestadels småporig, med enstaka större hålrum. De respektive slaggsträngarna förefaller vara likartade i sammansättning men ett fåtal ljusa fläckar (kvartskorn?) kan också ses, däremot inget metalliskt järn. I den andra, ännu ljusare slaggen (prov 882A2) ses endast en slaggsträng (Fig. 2C:2D). Denna är dock något ojämn i färg, med en ljus kant och något mörkare kärna. Dessa färgskillnader skulle kunna bero på olika sammansättning, eller kristallstorlek där ytterkanten kan vara snabbare avkyld och har stelnat fortare vilket förhindrat kristalltillväxt (och skapat en "glasig" yta vilken vanligen är ljusare) Denna slagg har dock inte analyserats vidare.

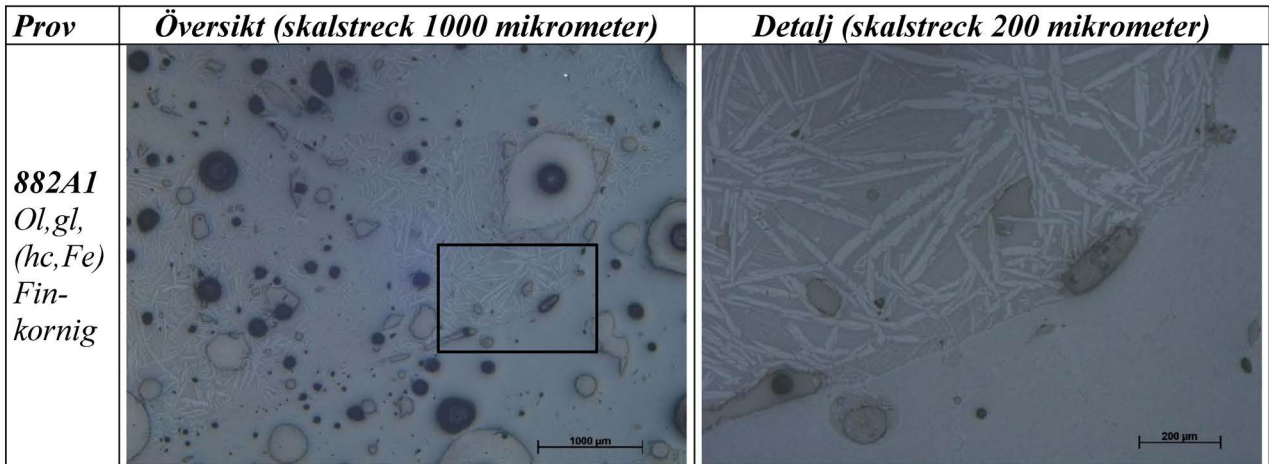


Figur 2C:2. Slaggar från ugn A882. A: Små, ljusa, stearinformade slaggar. B: slaggar uppbyggda av flera slaggsträngar (till vänster prov 882A1 med tunnare, till höger prov 882A2 med tjockare slaggsträngar). C: prov 882 A1 i delat tvärsnitt för analys (tunnslip). D: prov 882 A2 i delat längdsnitt, med ljusare ytterkant.

Tunnslipsanalys

Tunnslipet (882A1) som har analyserats (Fig. 2C:13) visar flera slaggsträngar som tydligt avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek. Slaggen är genomgående finkornig och allra finkornigast i ytterkanten av respektive slaggsträng där inga kristaller kan urskiljas vid låg förstoring under mikroskopet.

Slaggsträngarna är likartade i sammansättning och innehåller långsträckta finkorniga till extremt finkorniga olivinkristaller och en mellanliggande glasfas. Proportionerna mellan dem varierar något. Järnoxider förekommer också, bl.a. kristaller av hercynit. Extremt finkorniga järnoxider förefaller vara komplexa i sammansättning (hercynit-magnetit och ev. wüstit). Metalliskt järn förekommer här ställvis som små droppar men inte i någon större mängd.



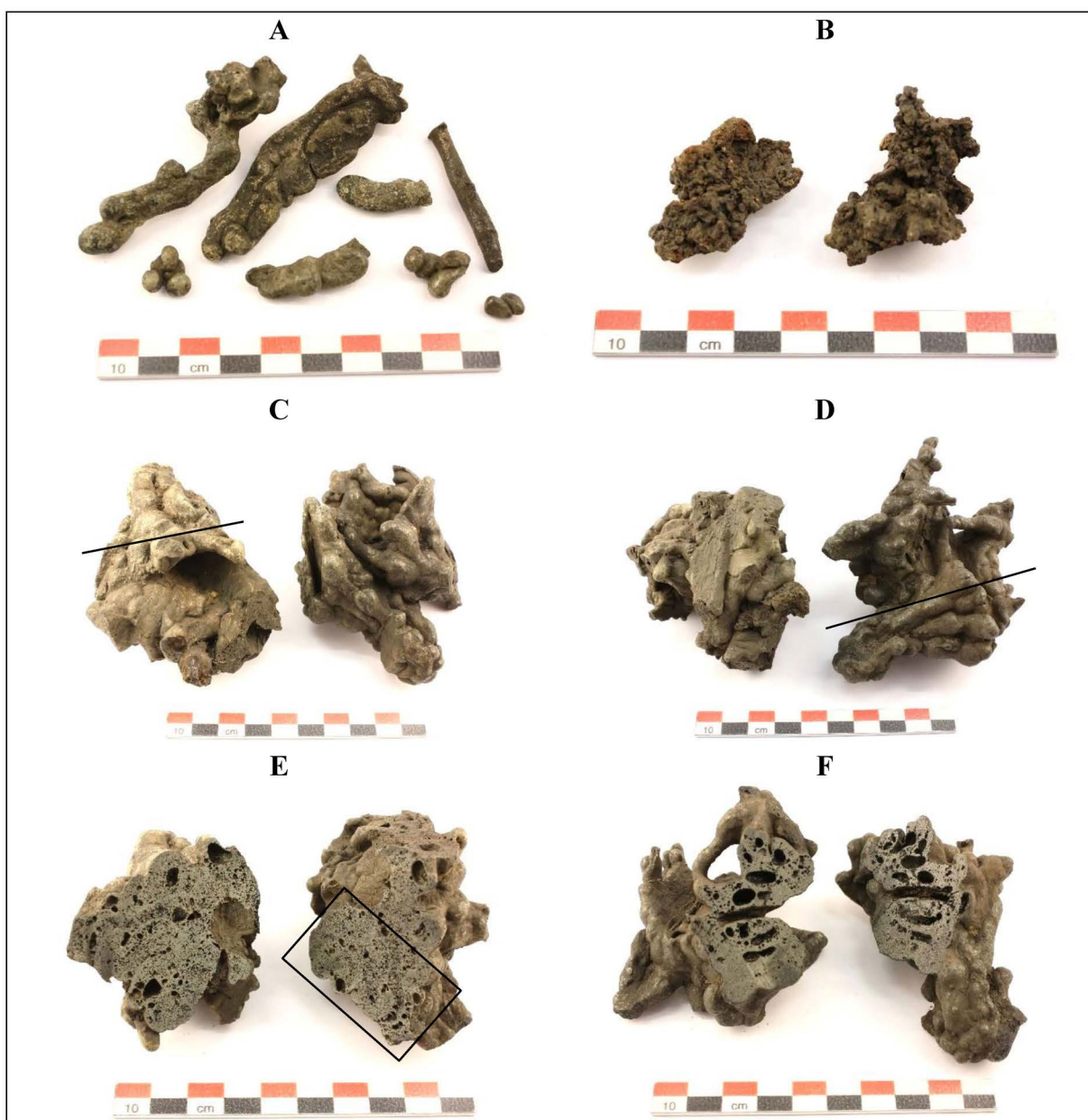
Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A905

Beskrivning

Från ugn A905 är totalt drygt 11 kilogram slagg tillvarataget. Tunna stearinformade slaggsträngar med tvärsnittsdiаметer på ca 5 mm är vanligt förekommande. Det förekommer också rikligt med droppar av liknande dimension (Fig. 2C:3A). Såväl ljusare som mörkare varianter kan ses (likartad mängd), och även slagger som har både ljusare och mörkare slaggsträngar. Endast ett fåtal större slagger förekommer men ingen rejält stor bottenslagg är dokumenterad. Även de större slaggerna är uppbyggda av tunna stearinformade slaggsträngar (Fig. 2C:3C–D). Den största slaggen mäter 80×80×50 mm och väger 280 g.

Kol- eller vedavtryck förekommer frekvent och ses även på mindre slagger. Det längsta avtrycket mäter ca 40 mm med ett tvärsnittsmått på 15–20 mm. Ett fåtal av slaggerna har en plan, slät sida där slaggen troligen har stelnat mot en sten.



Figur 2C:3. Slagger från ugn A905. A: Små, stearin- och droppformade slagger. B: små trögflutna slaggklumpar (till vänster prov 905C). C och D: två slagger (i två riktningar) uppbyggda av flera tunna slaggsträngar, till vänster prov A1, till höger prov A2. E: prov 905 A1 i delat tvärsnitt (tunnslip från rutan är analyserat i mikroskop). F: prov 905 A2 i delat tvärsnitt.

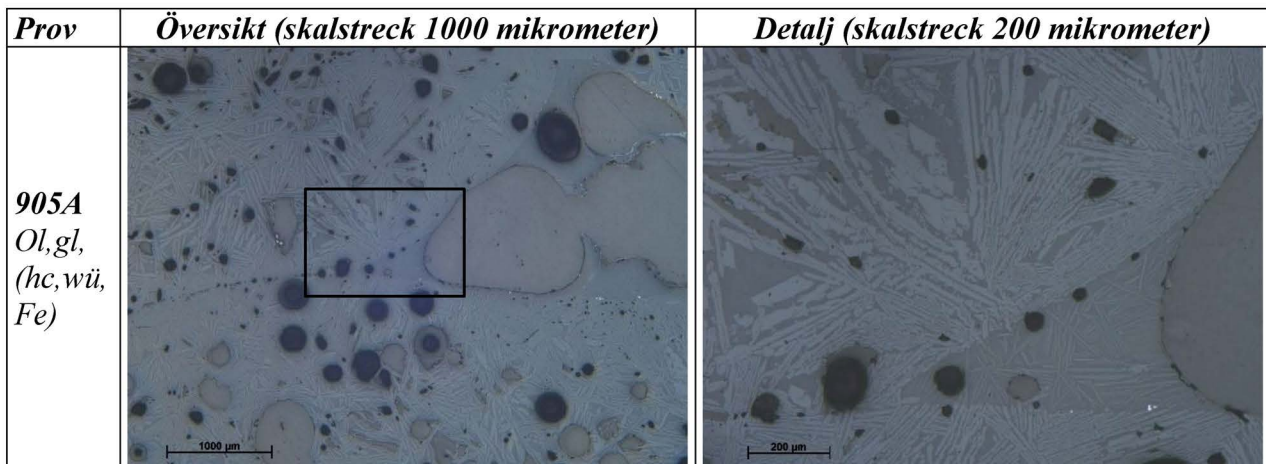
I materialet finns också ett fåtal klumpar av mer trögfluten slag (Fig. 2C:3B). Dessa klumpar är svagt magnetiska och antogs innehålla metalliskt järn, men inget järn kunde observeras i de delade tvärsnitten (prov 905 C).

Två av slaggerna från ugn A905, prov 905 A1 (analyserat) och 905 A2, har delats (Fig. 2C:3 C–F). De slaggsträngar som ses tydligt på ytan i prov A1 kan bara diffust urskiljas i tvärsnittet som istället visar en tämligen homogen slag vad gäller sammansättningen. Slaggen varierar något vad gäller porigheten med en del större hålrum men är i övrigt mer jämnt småporigt. Inget metalliskt järn kan observeras med blotta ögat. I prov A2 ses de separata slaggsträngarna tydligare i tvärsnittet, främst med hjälp av skillnader i porositet. Den homogena färgen antyder att de är likartade i sammansättning. Inte heller i denna slag ses någon metall med blotta ögat.

Tunnslipsanalys

Tunnslipet, 905 A1, som har analyserats (Fig. 2C:13) visar tydligt flera slaggsträngar även om de bara diffust kan anas med blotta ögat. De är likartade i sammansättning men varierar något i kornstorlek (ljusare är finkornigare). Kontakterna mellan dem ses också tydligt med hjälp av skillnader i kornstorlek (något finkornigare i ytterkanterna än mer centralt).

De innehåller genomgående olivinkristaller och en mellanliggande glasfas. Kristaller av hercynit kan anas i de grovkornigaste slaggsträngarna men är, liksom wüstit, mer osäkert i de finkornigare. Metalliskt järn förekommer i små mängder, främst längs ytterkanterna av några slaggsträngar.



Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slag. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses kontakten mellan flera slagglöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A945

Beskrivning

Ugn A945 är den som innehåller mest slagg, drygt 29 kilogram. En ansenlig del av slaggen utgörs av små stearinformade slaggsträngar men även slagger som är uppbyggda av många pålagrade slaggsträngar (Fig. 2C:4). Även ett antal slagger uppbyggda av en homogen, större slaggvolym förekommer också (Fig. 2C:4), men dessa är inte bland de största totalt sett.

Såväl ljusa som mörka slagger förekommer, både var för sig och tillsammans i mer komplexa former, vilket blir än tydligare när slaggerna delas (Fig. 2C:4). I några fall är det huvudsakligen ljusa slaggsträngar (som i slaggprov A3) med ett begränsat inslag av mörkare slaggsträngar. I andra fall är det tvärtom (t.ex. slaggprov A1) där mörka är i övervikt och ljus och mörk slagg är uppdelade i varsin del.

Slaggprov A2 och A4 är två exempel av enbart mörka slagger, där A2 utgörs av en större sammanhängande, homogen slagg, medan A4 är uppbyggd av flera små slaggsträngar som ses tydligt också i det delade tvärsnittet. Slaggprov A5 utgörs av endast ljusa slaggsträngar. Denna slagg är också en av många med karaktäristiska långsmala avtryck. Inte i någon av de delade slaggerna har metalliskt järn observerats.

De delade slaggerna beskrivs nedan och visas i figur 2C:4. Två av slaggerna, den homogent mörka A2 och den ljusa A5, har valts ut för mer detaljerade analyser (tunnslip och totalkemisk analys). Flera har också genomgått en förenklad analys med handhållen XRF (se metodtext för den tekniska keramiken) för att få en uppfattning om det finns kemisk skillnad mellan ljusa och mörka delar. Dessa kemiska resultat jämförs också med de totalkemiska (ICP) analyserna.

A945A1

A1 är uppbyggd av flera tunna slaggsträngar som har stelnat mot en kant (kurvatur). I delat tvärsnitt framträder dessa slaggsträngar också tydligt, men det visar sig också att den innehåller både mörka och ljusa slaggsträngar, där dessa är uppdelade i varsin halva av tvärsnittet.

A945A2

A2 har ett yttre som antyder att den är homogent uppbyggd vilket blir än mer tydligt i det delade tvärsnittet där en homogen och genomgående tät slagg framträder. Mot dess ytterkant förekommer dock en del större porer, men det är endast en marginell skillnad.

A945A3











A3 är likt A1 uppbyggd av flera tunna slaggsträngar vilket också ses tydligt i det delade tvärsnittet där det också blir tydligt att även om ljusa slagger är mesta frekventa finns det enstaka tunna mörka slaggsträngar. I tvärsnittet ses också en rak kant där slaggen har stelnat mot någon begränsningsyta.

A945A4

A4 är också uppbyggd av flera pålagrade slaggsträngar. På ytan ser de ut att delvis ha smält samman, vilket också anas i tvärsnittet där den centrala delen är mer homogen och slaggsträngarna ses tydligast i ytterkanten (där slaggen har stelnat snabbast). Slaggen ser dock ut att vara likartad i sammansättning i hela snittet – endast mörk slagg kan ses. Inkapslat i tvärsnittet har dock ett litet (någon mm) fragment av gråbränd lera noterats.

A945A5

A5 är uppbyggd av flera pålagrade, ljusa, slaggsträngar. På ytan ser dessa ut att delvis ha smält samman, vilket också framträder i tvärsnittet. Denna slagg karaktäriseras framförallt av de många, långsmala och mestadels parallella avtrycken (strån). Tvärsnittet är gjort vinkelrätt de ytligt liggande avtrycken. I tvärsnittet yttrar sig dessa som cirkelformade hål, även i mer centrala delar som visar att dessa strån inte enbart ligger längs slaggens yttre utan att slaggen har runnit och stelnat runt en större bunt av likartat material. Inget kvarvarande organiskt material har dock noterats i snittet.

	Hel slag	Delad slag	Notering
A1			Tunna strängar, mörka och ljusa. Långsmala avtryck.
A2			Homogen, mörk.
A3			Tunna strängar, huvudsakligen ljusa, fåtal mörka.
A4			Tunna strängar, genomgående mörka.
A5			Tunna strängar, genomgående ljusa. Rikligt med långsmala avtryck.

Figur 2C:4. Ett urval av slaggar från ugn A945 (prov A1–A5) som visar en del av den variation som finns bland slaggerna från ugnen vad gäller färg, form, avtryck och uppbyggnad. Till vänster hela slaggen och till höger i delat tvärsnitt.

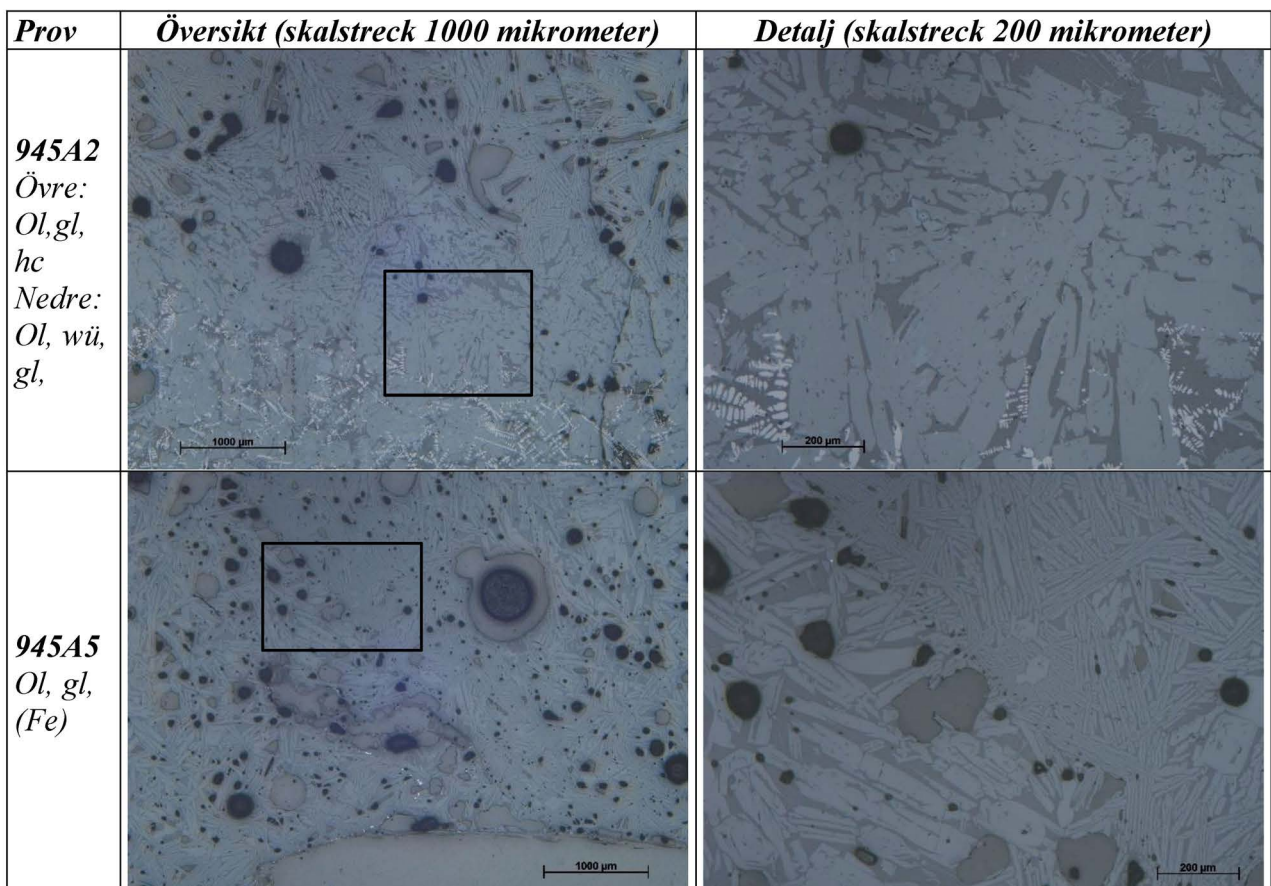
Tunnslipsanalyser

A945A2

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar kontakten mellan det som med blotta ögat observerades som en tät och en porösare slagg. Under mikroskopet ses också tydligt skillnaden mellan dessa två delar av slaggen även om det är en kontinuerlig övergång. Den tätare slaggen utgörs av en större slaggvolymer som består av olivin, wüstit och en glasfas (tämligen grovkornig). Den något porösare delen är sin tur uppbyggd av flera tunnare, finkornigare, slaggsträngar som är allra finkornigast i respektive ytterkant. I denna del innehåller slaggen olivin och en glasfas; i de grövre kan också hercynit urskiljas (förekommer ev. även i de finkornigare). Metalliskt järn har inte observerats.

A945A5

Precis som observerats med blotta ögat kan slaggsträngarna endast diffust särskiljas i tunnslipet (Fig. 2C:13). Där ses endast marginella skillnader i kornstorlekar mellan slaggsträngarna. De är inbördes snarlika i både kornstorlek (finkorniga men inte extremt finkorniga som den ljusa färgen skulle kunna antyda) och sammansättning med olivinkristaller och en mellanliggande glasfas. Varken hercynit eller wüstit har observerats, inte ens i de extremt finkorniga kristaller som finns i den glasiga mellanmassan. Metalliskt järn i form av små droppar förekommer sporadiskt, bl.a. längs hålrum efter strån.



Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktspå bild (lägsta möjliga förstoring). Där ses, mer eller mindre tydligt, kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktspå bilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A970

Beskrivning

Från A970 finns totalt nästan 12 kilogram slagg. En stor del av slaggen utgörs av små stearinformade slaggsträngar (Fig. 2C:5A), men även flera större slaggar förekommer i materialet. Slaggsträngarna varierar i dimension från ca 5 till 10 mm i tvärsnittsdiameter. De allra flesta är mörka, men ett fåtal ljusa förekommer också. Mestadels är det slaggsträngar med cirkelformat tvärsnitt, men några är snarare ovala utan att det förefaller som om de har stelnat mot någon begränsningsyta. Det finns dock exempel på tunna slaggsträngar med som har stelnat mot någon slät yta (sten?) och till och med så tunna att de kan ha stelnat mellan två stenar.



Figur 2C:5. Slaggar från ugn A970. A: Små stearinformade, tunna slaggar. B: slagg med rundat avtryck från gropväggen (till vänster). C och D: slagg (prov 970A) uppbyggd av flera slaggsträngar, C sedd ovanifrån, D underifrån där de tunna slaggsträngarna syns tydligt. E: slaggprov 970A delat (längs linjen i C och D) för analys (tunnslip från rutan).

Andra uppvisar en kurvatur efter vad som troligen är väggen (slaggen till vänster i Fig. 2C:5A). Det finns också exempel på slagsträngar med skrynkligt ytskikt där slaggen bör ha stelnat (hastigt) i ytskiktet samtidigt som den har varit flytande i mer centrala delar och där fortsatt rinna. Detta är vanligt i slagger som tappas ut ur ugnen, men slaggerna från A970 uppvisar en mer trögfluten karaktär än tappslagget, och saknar den magnetiska överyta som karakteriserar tappslagget varför det är troligt att de har stelnat inom slagguppsamlingsgropen; möjligen är det slag som har bildats i ett tidigt skede och runnit ner i slagguppsamlingsgropen när den var kallare än senare i processen då mer slag kan ha värmt upp den.

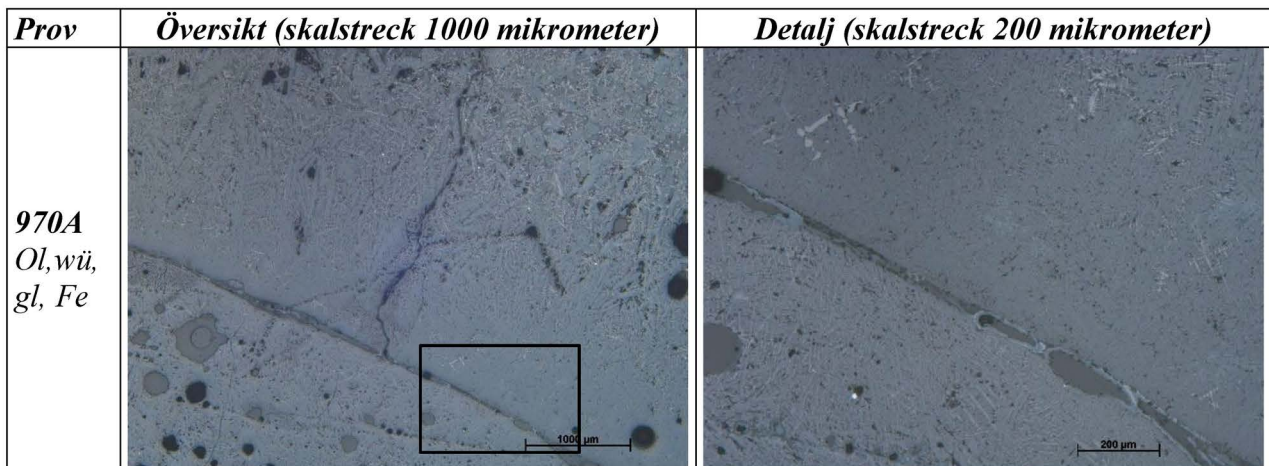
En större slag, som är del av en större bottenlagg, väger 1100 g och möter 180×110 mm i plan och är (minst) 40 mm tjock. Denna har stelnat mot en ytterkant (Fig. 2C:5B) i ugnen (slagguppsamlingsgropen).

Flera vedavtryck är observerade och förekommer i flera riktningar i slaggen, såväl vågrätt som lodrätt. Ett av de lodräta avtrycken mäter ca 20×20 mm i tvärsnitt och är minst 50 mm långt.

Den slag som har delats för analys har en undersida med tunnare slagsträngar (Fig. 2C:5D) och med något tjockare strängar (Fig. 2C:5C). I delat snitt kan mindre slagsträngar urskiljas i den nedre delen, medan den övre delen förefaller vara en större homogen slagvolym (Fig. 2C:5E). Färgmässigt är de likartade och uppvisar en homogen sammansättning. Inget metalliskt järn kan observeras med blotta ögat.

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar tydligt flera slagsträngar som tydligt avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek, med avtagande kornstorlek från centrala delar till ytterkanten i respektive slagsträng. Slagsträngarna är likartade i sammansättning och innehåller olivinkristaller, dendritiskt formad wüstit och en mellanliggande glasfas. Metalliskt järn förekommer här ställvis som små droppar, ibland något rikligare, men mestadels endast i ringa mängd.

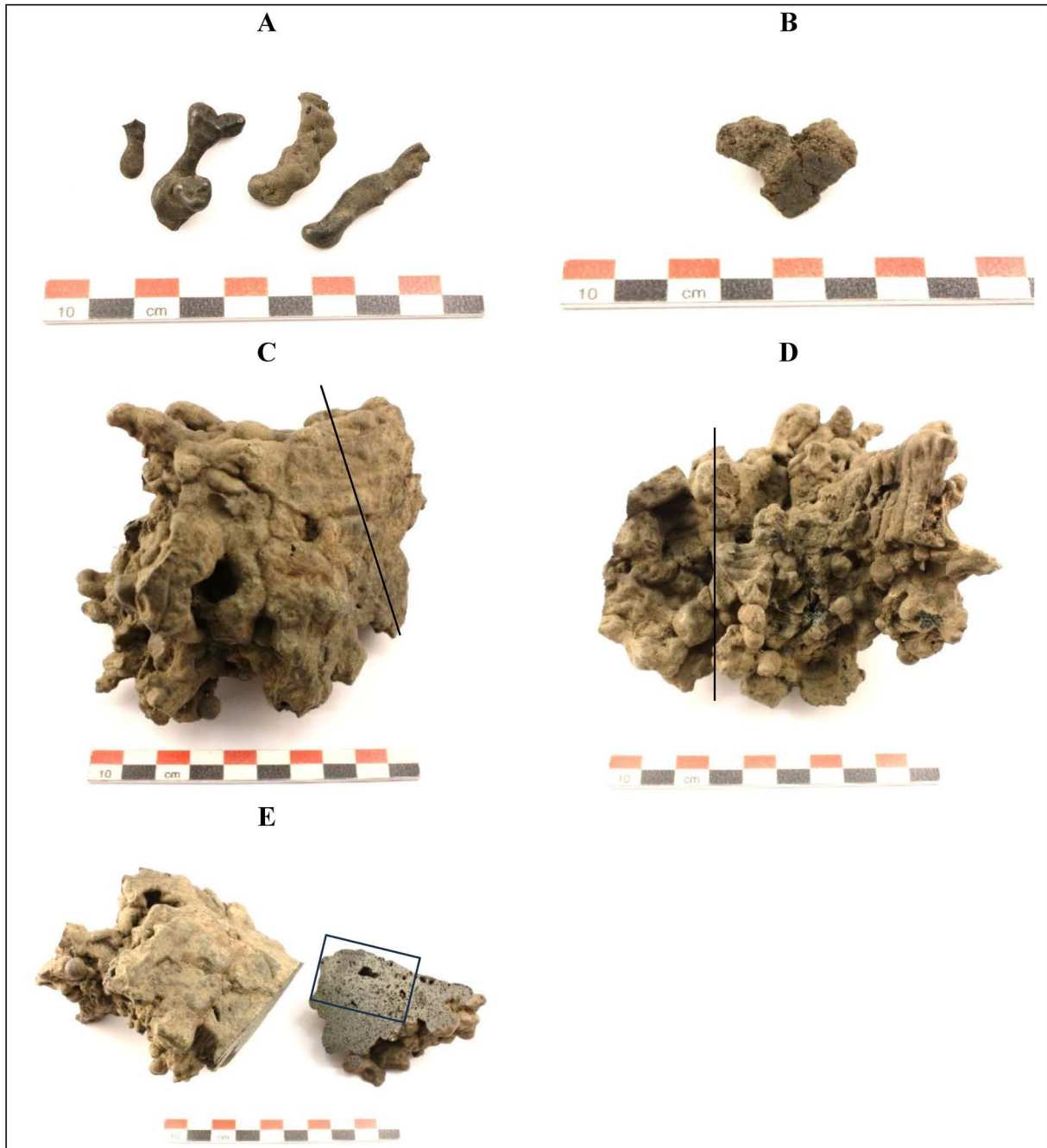


Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slag. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses kontakten mellan flera slagglöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A978

Beskrivning

Slaggerna från ugn A978 väger totalt drygt 13 kilogram. De flesta är stearinformede slaggsträngar som vanligen är tunna, ca 5 mm i tvärsnittsdiameter (Fig. 2C:6A). De förekommer som enstaka, fåtal pålagrade eller många som tillsammans bygger upp (något) större bottenlager med tunnare slaggsträngar nära botten, och något tjockare närmare överytan (Fig. 2C:6C-E). De är genomgående tämligen mörka.



Figur 2C:6. Slagger från ugn A978. A: Små, stearin- och droppformade slagger. B: liten magnetisk klump, i tvärsnitt (prov 978C). C och D: slagg (prov 978A) uppbyggd av flera slaggsträngar, C sedd snett ovanifrån, D underifrån där de tunna slaggsträngarna syns tydligt. E: slaggprov 978A delat (längs linjerna i C och D) för analys (tunnslip i rutan).

Bland de större slaggerna finns också några exempel på bottenslagger som består av större homogena slaggvolymer, dvs. där en större mängd slagg har varit smält och avkylts och stelnat. Bland dessa finns dock inga tydliga avtryck från vägg/kant som från några av de andra ugnarna, varför det är oklart om de har fyllt upp hela slagguppsamlingsgropens storlek (i fält uppmätt till ca 75 cm).

En av de större slaggerna (prov 978A1) mäter 120×90×70 mm och väger 520 g (Fig. 2C:6C-D). En annan av de större mäter 110×100×80 mm och väger 630 g.

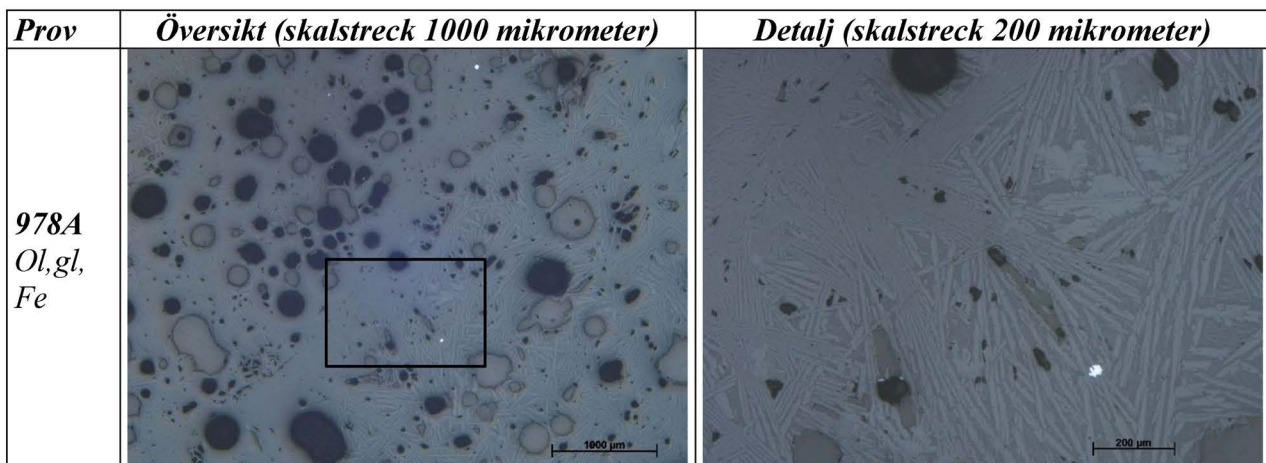
Kolavtryck (relativt små), som mest 20 mm stora, är tämligen vanligt förekommande medan vedavtryck är mer sällsynta. Ett större mäter 45×30×20 mm.

I materialet finns också ett fåtal trögflutna, delvis magnetiska klumpar som antogs kunna innehålla metalliskt järn (Fig. 2C:6B). Två av dem (prov C) delades men ingen metall kunde observeras med blotta ögat. En av klumparna har dock en tämligen väldefinierad rak ytterkant (mekaniskt bearbetad?) och de analyserades vidare för att se om det eventuellt finns metall bevarat i mikroskopiska mängder, eller strukturer som kan ge mer information.

Den slagg som delades för analys (A978A) uppvisar i tvärsnitt (Fig. 2C:6E) en större sammanhållen slaggvolymer med homogen sammansättning. Den varierar något i porositet men är mestadels småporig. Inget metalliskt järn kan ses med blotta ögat.

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar i motsats till vad som ses med blotta ögat, tydligt flera slaggsträngar som avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek. Slaggen är genomgående finkornig och allra finkornigast i ytterkanten av respektive slaggsträng. De är dock likartade i sammansättning och innehåller långsträckta, finkorniga till extremt finkorniga, olivinkristaller och en mellanliggande glasfas. Varken hercynit eller wüstit kan ses, men metalliskt järn förekommer som enstaka, små droppar i några av slaggsträngarna.



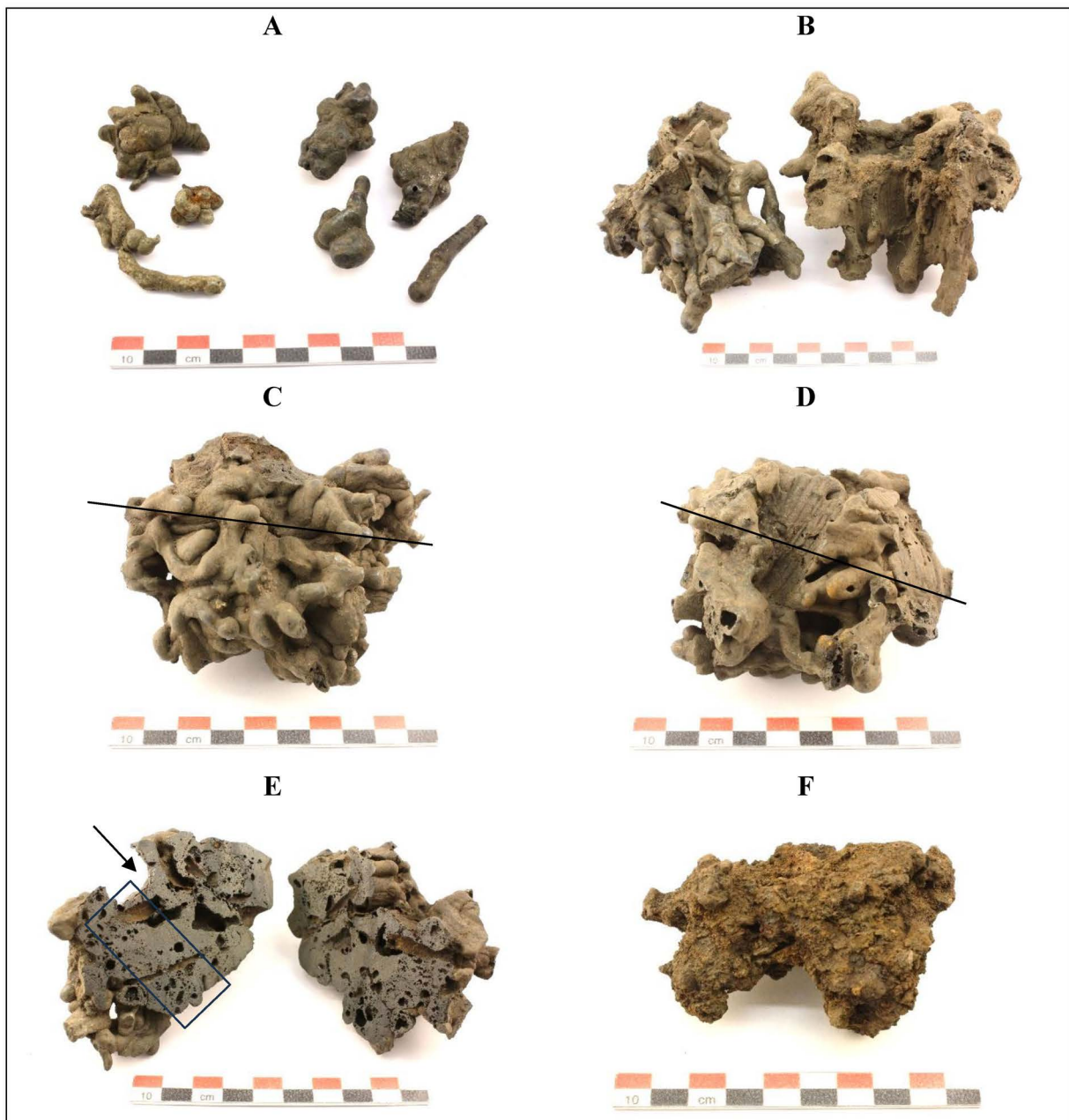
Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där anas något diffust kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A1096

Beskrivning

Ugn A1096 är en av de ugnar som har störst slaggmängd, totalt närmare 27 kilogram slagg. I detta stora material förekommer tunna dropp- och stearinformade slaggsträngar. Mörka dominerar, men ljusa förekommer också (Fig. 2C:7A). Såväl enskilda slaggsträngar och slagger som är uppbyggda av ett fåtal strängar utgör stora delar av materialet (Fig. 2C:7B–D).

Slagger som är uppbyggda av större antal slaggsträngar är, trots den stora mängden, mindre vanliga. De största väger ca 400 g. En av de större som väger 420 g mäter 75×75×70 mm och består av slaggsträngar av varierande tjocklek vilka har stelnat runt flera kol-/vedstycken som har lämnat avtryck. En något mindre slagg som väger 380 g och mäter 90×60×55 mm är uppbyggd av ett större antal, tunnare slaggsträngar saknar avtryck efter kol eller ved. Större bottenlagger, med en mer homogen slaggvolym saknas dock.



Figur 2C:7. Slagger från ugn A1096. A: Små, stearin- och droppformade slagger. Ljusare till vänster, mörkare till höger. B: Slagger uppbyggda av flera slaggsträngar. C och D: slagg (prov 1096A) uppbyggd av flera slaggsträngar, i D med tydligt ved(pinn)avtryck (ses också vid pilen i E). E: slaggprov 1096A delat för analys längs linjen i C och D (tunnslip i rutan). F: magnetisk klump (prov 1096C).

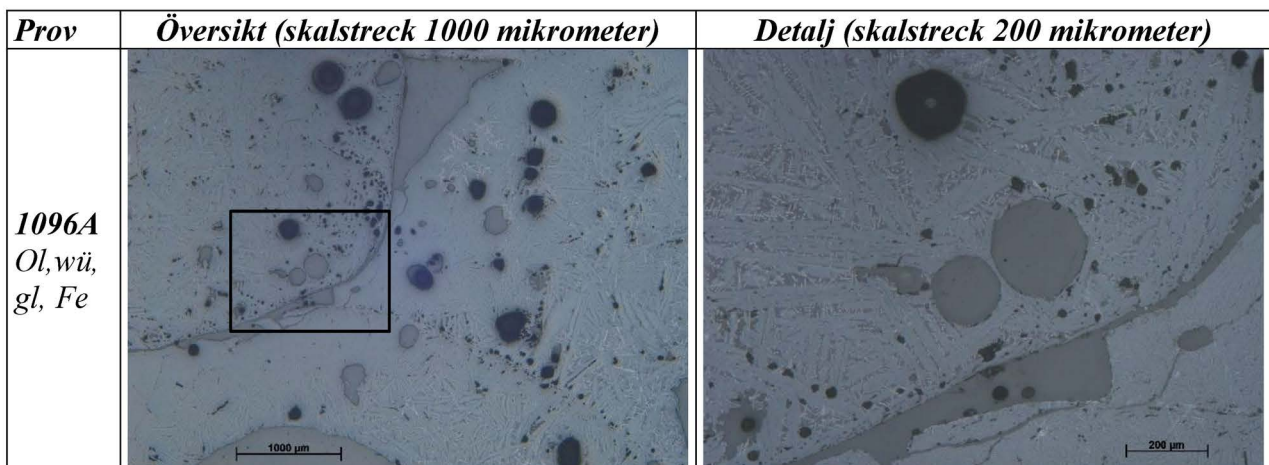
Rostbruna, trögflutna klumpar som delvis är magnetiska är betydligt vanligare (Fig. 2C:7F). Samma typ av material förekommer även på stearinformade slaggar, vanligen sekundärt fastkittat.

På slaggen som har valts för analys (Prov 1096A) ses flera tunna stearinformade slaggsträngar på en sida (Fig. 2C:7C). Motsatt sida (Fig. 2C:7D) karaktäriseras av ett långsmalt avtryck (ved/pinne). Slaggen har delats rakt genom detta avtryck. I tvärsnitt (Fig. 2C:7E) ses en slagg med homogen sammansättning, utan att enskilda slaggsträngar kan urskiljas. Slaggen uppvisar dock varierande porositet från täta områden till mer poriga och ställvis enstaka större porer. Inget metalliskt järn har observerats.

De magnetiska, rostbruna, klumparna har granskats för att undersöka om de innehåller metalliskt järn. Flera som har delats har visat sig dock bestå av en kärna av slagg med sekundärt fastkittat material, troligen material från omgivningen de legat i, och saknar därmed metall. En av klumparna, prov A1096C, visade sig dock innehålla metalliskt järn (Fig. 2C:7E) och analyserades metallografiskt (se eget stycke).

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar tydligt flera slaggsträngar som tydligt avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek, med avtagande kornstorlek från centrala delar till ytterkanten i respektive slaggsträng. Slaggsträngarna är likartade i sammansättning och innehåller olivinkrystaller, dendritiskt formad wüstit och en mellanliggande glasfas. Metalliskt järn förekommer här ställvis som små droppar, ibland något rikligare, men mestadels endast i ringa mängd.



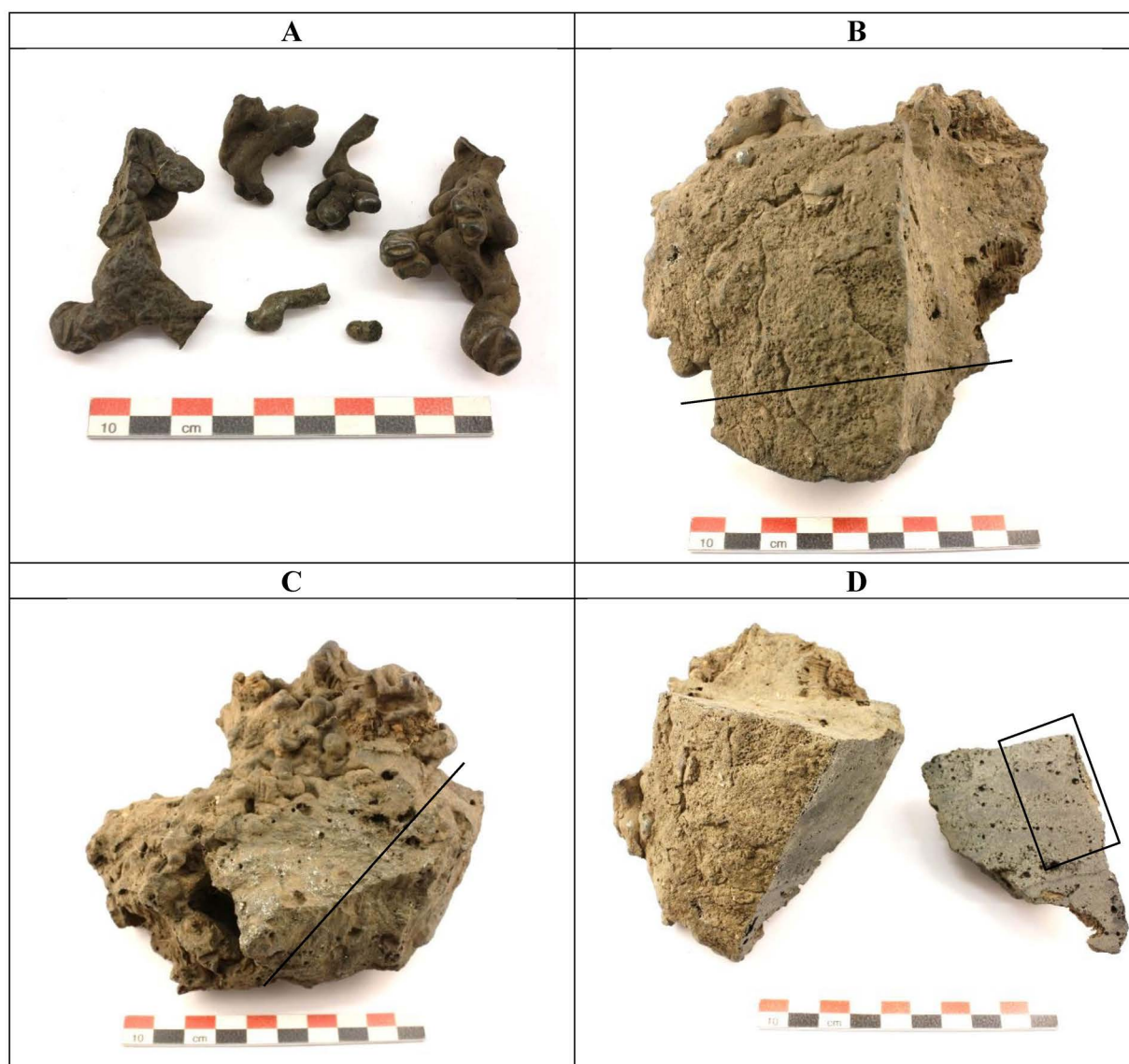
Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktspå bild (lägsta möjliga förstoring). Där ses tydligt kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktspå bilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A1335

Beskrivning

Slaggerna från ugn A1335, totalt nästan 13 kilogram, utgörs till stor del av tunna stearinformede slaggsträngar, mestadels mörka (Fig. 2C:8A). Större slaggar uppbyggda av flera pålagrade slaggsträngar förekommer också liksom någon enstaka större slagg som förefaller vara mer homogen. Den största (Fig. 2C:8B och C), som också har analyserats, väger 1049 g och mäter 120×80×80 mm. Den har en del som förefaller vara en större homogen slagvolym och en del (ytterkant) med tunnare slaggsträngar. På en utsida (Fig. 2C:8C och D) ses platta slaggsträngar vilka har stelnat mot en slät begränsningsyta (sten?)

Denna slagg har delats och i tvärsnittet (Fig. 2C:8D) ses tunnare skikt av ljusare och växelvis mörkare slagg kan ses, delvis avgränsade av stråk med större porer. Längs sidan mot det plana avtryck ses också ett tunt (några mm) skikt av vad som eventuellt är keramiskt material. Denna ytterkant ingår i det analyserade tunnslipet (men inte i den kemiska analysen). Inget metalliskt järn har observerats i tvärsnittet.

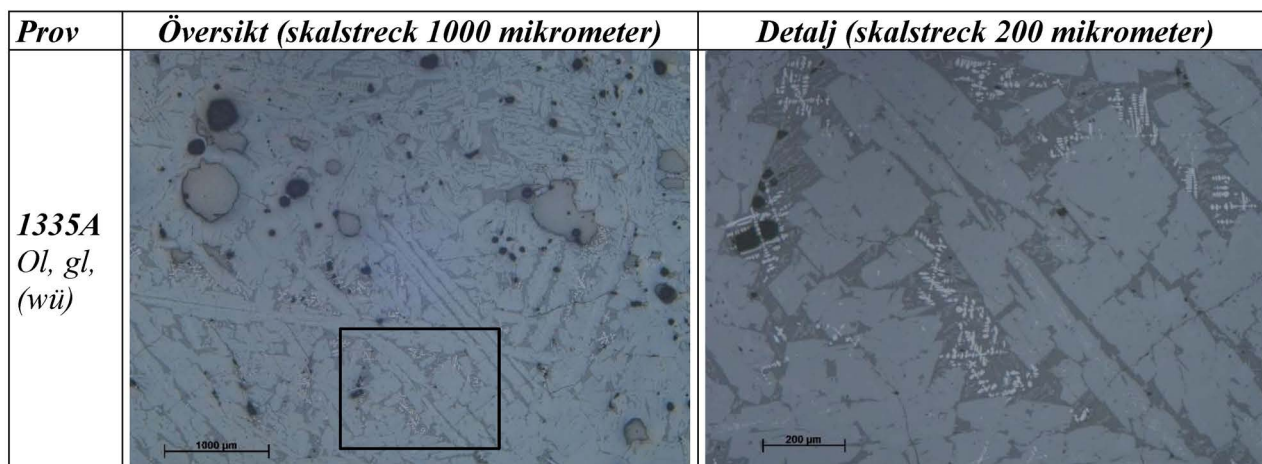


Figur 2C:8. Slaggar från ugn A1335. A: små, stearin- och droppformade mörka slaggar. B: Del av större bottenslagg som stelnat mot en vägg (sten) där flera platta slaggsträngar kan ses. C: samma slagg sedd snett ovanifrån med en större sammanhållen slagvolym i främre delen men med flera tunnare slaggsträngar i bildens bakre del. D: samma slagg (prov 1335A) i delat tvärsnitt (längs linjen i B och C) där tunnare skikt av ljusare och växelvis mörkare slagg kan ses, delvis avgränsade av stråk med större porer (tunnslip från rutan).

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar en slagg med likartad sammansättning i hela provet, bestående av olivinkristaller och en mellanliggande glasfas. I den senare förekommer också mestadels dendritiskt formad wüstit (frekvent men underordnat olivin). Metalliskt järn kan inte ses.

De diffusa skikt av slagg (snarare än slaggsträngar) som ses med blotta ögat framträder också i tunnslipet med finkornigare kontakter (ytterkant på respektive äldre slagg). Proportionerna mellan olivin och wüstit varierar också något mellan slaggsnitten. Samtliga skikt är dessutom finkornigare mot den ytterkant (vägg) som skapat ett avtryck.



Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses, ett större homogent slagglöde (grovkornigare än de flesta andra). Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A1367

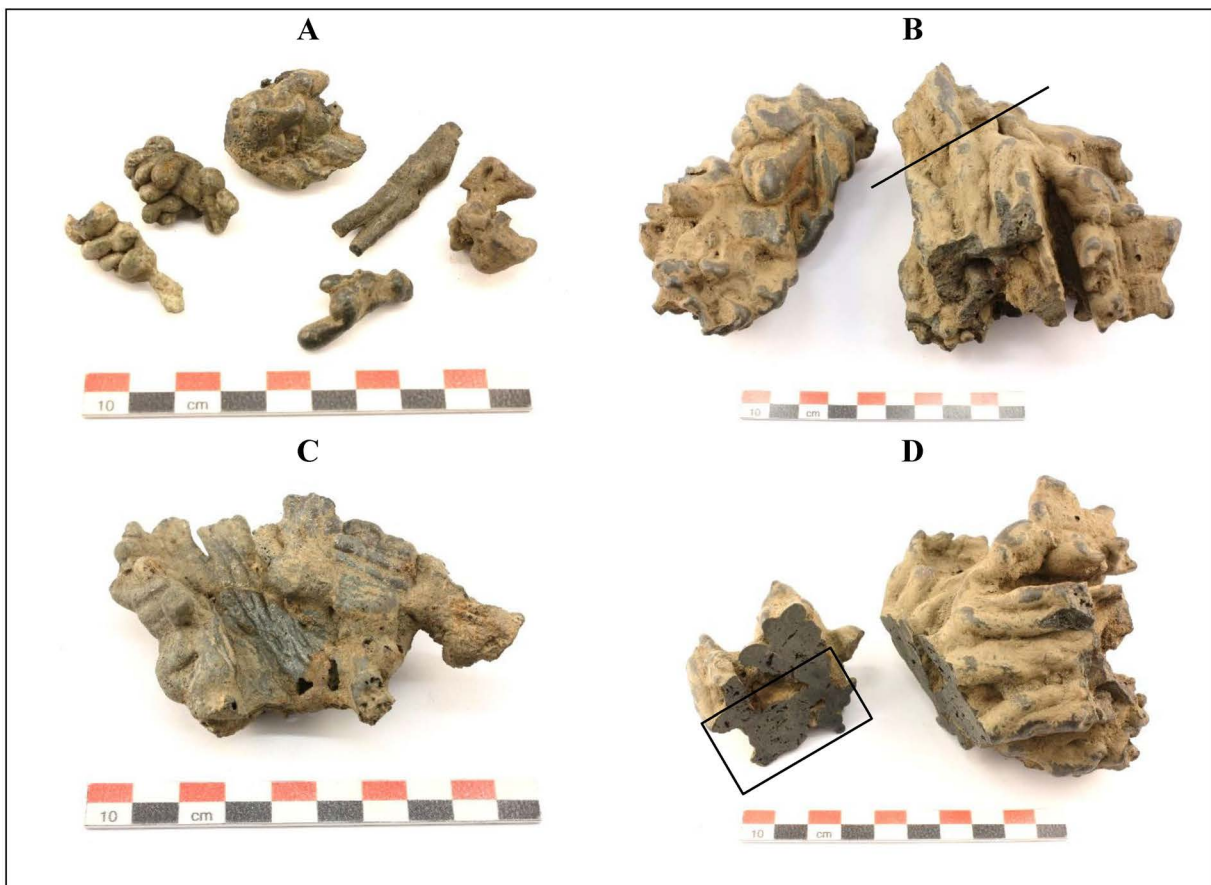
Beskrivning

Slaggerna från ugn A1367, totalt nästan 15 kilogram, omfattar dropp- och stearinformade slaggsträngar (Fig. 2C:9A), mestadels mörka. Slaggsträngarna är tunnare (ca 5 mm i diameter till något tjockare ca 10 mm). Bland dessa finns också exempel med skrynkligt ytskikt där slaggerna har bromsats i sin framfart mot något hinder. Endast ett fåtal större slagger uppbyggda av flera pålagrade slaggsträngar (Fig. 2C:9B) förekommer i materialet, och bottenslagger som utgörs av större slaggvolymmer har inte observerats alls. Den största slaggen mäter 100×90×65 mm och väger 700 g. Bland de större slaggerna framträder vanligen tunnare slaggsträngar i de nedre delarna, och något tjockare i de övre.

Vedavtryck (Fig. 2C:9C) förekommer frekvent och har noterats i flera riktningar inom en och samma slagge. Ett av de större avtrycken är ca 60 mm långt, och mäter cirka 15×15 mm i tvärsnitt. Även tunna avtryck (spån?) förekommer (Fig. 2C:9B) Enstaka släta, plana avtryck förekommer också, sannolikt där slaggen har stelnat mot en sten i konstruktionen.

Magnetiska klumpar förekommer också sparsamt. Metalliskt järn kan dock inte observeras i dessa (delat tvärsnitt).

På slaggen som har valts för analys (Prov 1367A) ses flera tunna stearinformade slaggsträngar på utsidan. Dessa kan anas även i det delade tvärsnittet, även om de är delvis sammansmälta och uppvisar en homogen sammansättning och mestadels få och små porer (Fig. 2C:9D). Inget metalliskt järn har observerats.

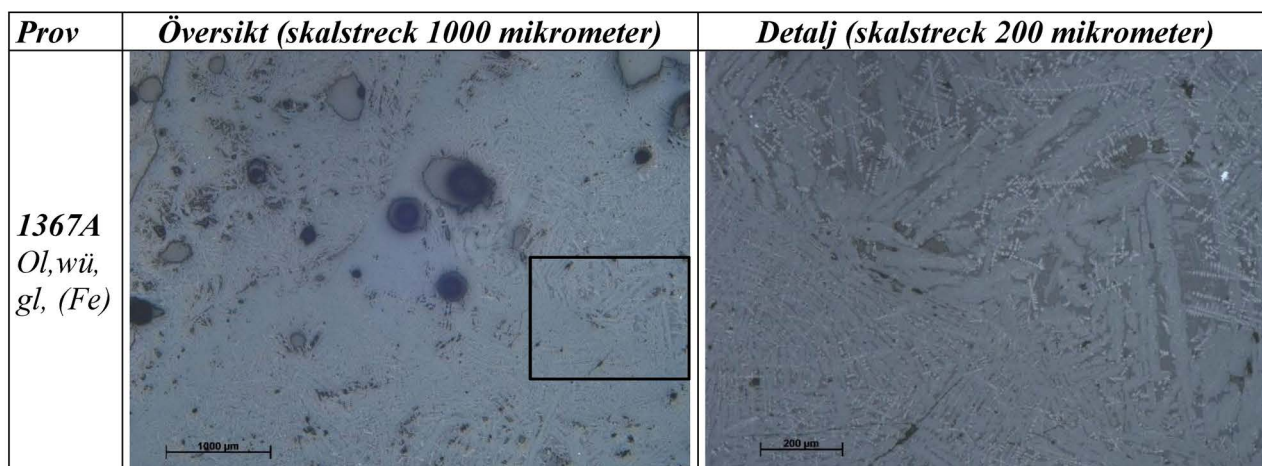


Figur 2C:9. Slagger från ugn A1367. A: små, stearin- och droppformade mörka slagger. B: Två slagger uppbyggda av flera, tunnare, slaggsträngar. Slaggen till höger, med tunna vedavtryck, har analyserats (prov 1367A). C: slagg med flera tydliga vedavtryck. D: Delat tvärsnitt av slaggprov 1367A (längs linjen i B). Analyserat tunnslip i rutan.

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar att de slaggsträngar som bara diffust kan anas med blotta ögat tydligt avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek. De många små och tunna slaggsträngarna är genomgående finkorniga och allra finkornigast i ytterkanten där inga kristaller kan urskiljas vid låg förstoring under mikroskopet.

Slaggsträngarna är likartade i sammansättning och innehåller långsträckta finkorniga till extremt finkorniga olivinkristaller, finkornig dendritisk wüstit och en mellanliggande glasfas. Proportionerna mellan dem varierar något. Metalliskt järn förekommer som små droppar i de flesta slaggsträngarna, men totalt inte i någon större mängd.

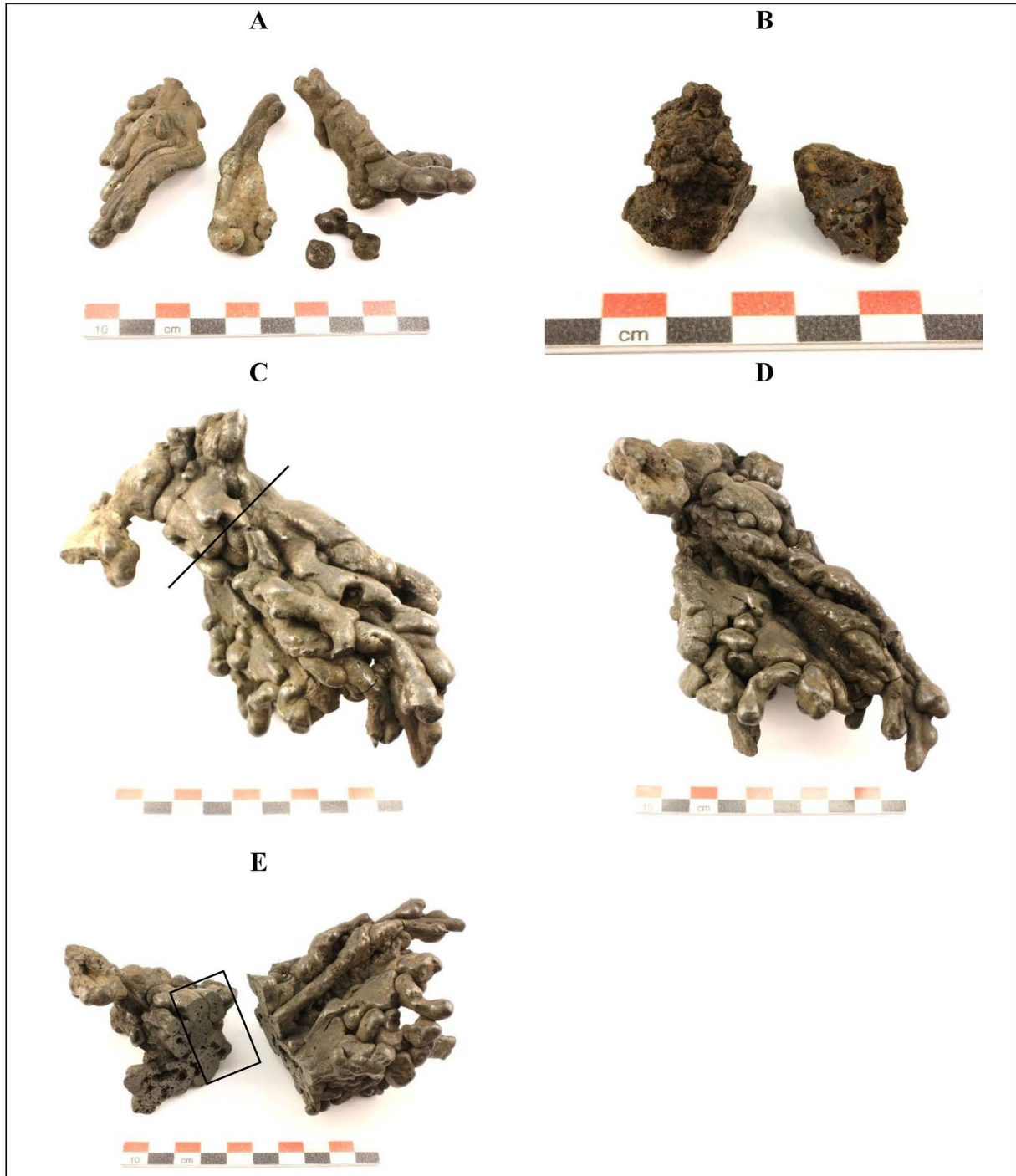


Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofon på analyserad slagg. Till vänster en översiktssbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktssbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Ugn A1392

Beskrivning

Slaggerna från ugn A1392, totalt knappt 5 kilogram, domineras av mörka dropp- och stearinformade slaggsträngar, sväl tunnare som några med tjockare i tvärsnitt förekommer (Fig. 2C:10A). De större slaggerna från ugnen är också uppbyggda av många pålagrade, tunna slaggsträngar. Inga större bottenlagger är dock observerade. Den största slaggen mäter 140×65×50 mm och väger 460 g.



Figur 2C:10. Slagger från ugn A1392. A: Små, stearin- och droppformade slagger. B: liten magnetisk klump, i tvärsnitt (prov 1392C). C och D: slagg (prov 1397A) uppbyggd av flera slaggsträngar, C sedd ovanifrån, D underifrån. E: slaggprov 1392A delat längs linjen i C för analys (tunnslip i rutan).

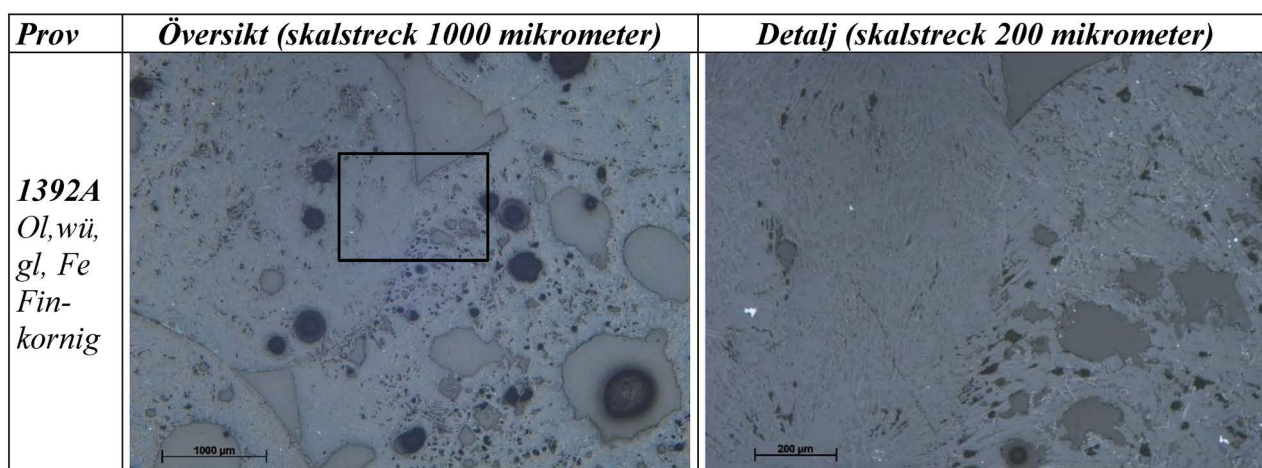
Enstaka små kolavtryck är observerade (ca 15–20 mm stora), men också långsmala avtryck likt de strån som är noterade främst från ugn A945 och i mindre omfattning i slaggerna från ugn A847, eventuellt av något grövre dimension.

Slaggen som har valts för analys (Prov 1392A) har många tunna stearinformade slaggsträngar på utsidan (Fig. 2C:10C–D). Dessa är även tydliga och väl separerade i det delade tvärsnittet med något varierande dimension (Fig. 2C:10E). Vanligen har varje slaggsträng ett centralt liggande större hålrum, men är tämligen täta i övrigt. Samansättningen förefaller, vara snarlik i alla strängar. Inget metalliskt järn har observerats.

Små magnetiska, trögflutna klumpar, antyder förekomst av metalliskt järn men inget sådant kan observeras med blotta ögat i det delade tvärsnittet (Fig. 2C:10B).

Tunnslipsanalys

Tunnslipet som har analyserats (Fig. 2C:13) visar många små slaggsträngar som tydligt avgränsas med hjälp av skillnader i kornstorlek. De är genomgående finkorniga och allra finkornigast i ytterkanten. Slaggsträngarna är likartade i sammansättning och innehåller långsträckta, finkorniga till extremt finkorniga olivinkristaller, finkornig dendritisk wüstit (saknas i någon slaggsträng) och en mellanliggande glasfas. Proportionerna mellan dem varierar något. Metalliskt järn förekommer som små droppar i de flesta slaggsträngarna.

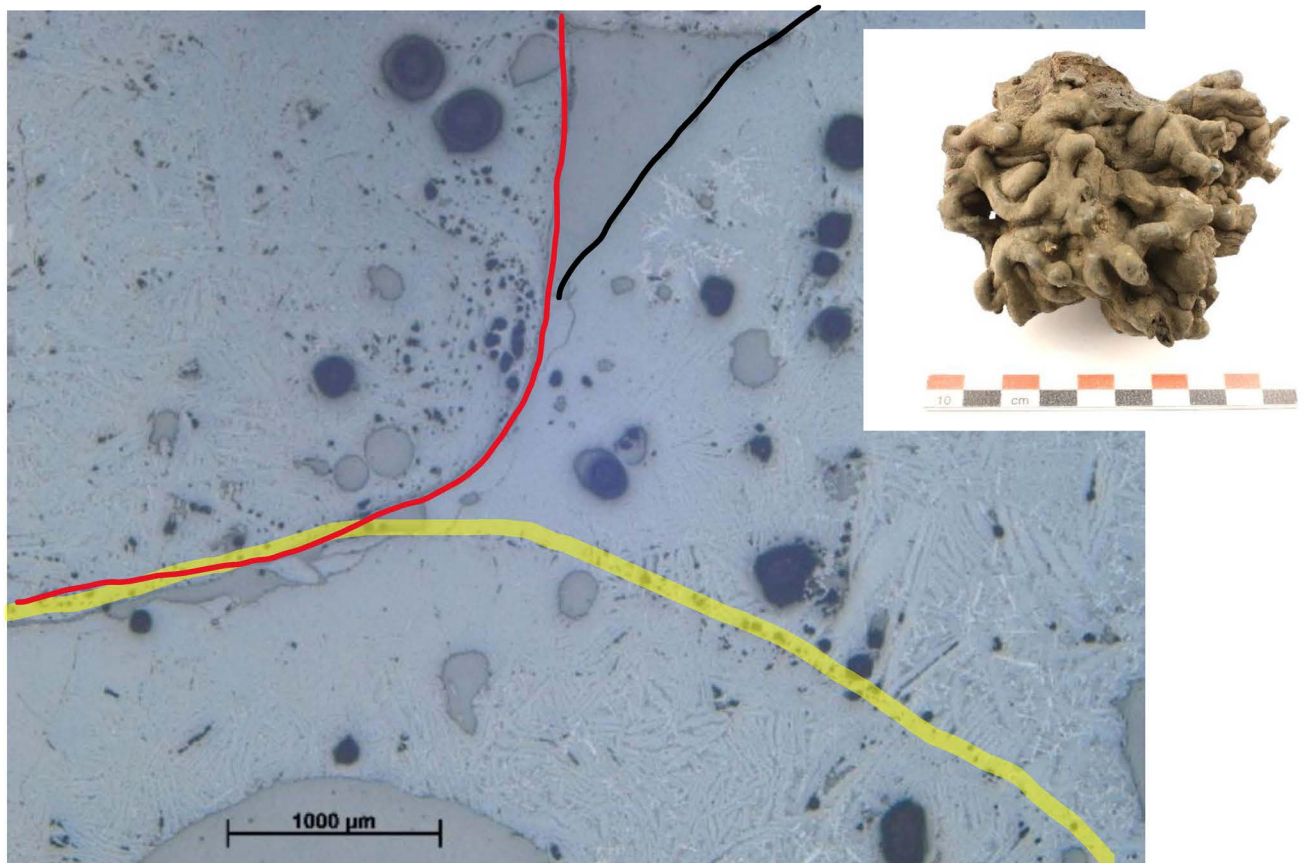


Utdrag ur Fig. 2C:13. Mikrofoton på analyserad slagg. Till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses tydligt kontakten mellan flera slaggflöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i översiktsbilden. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

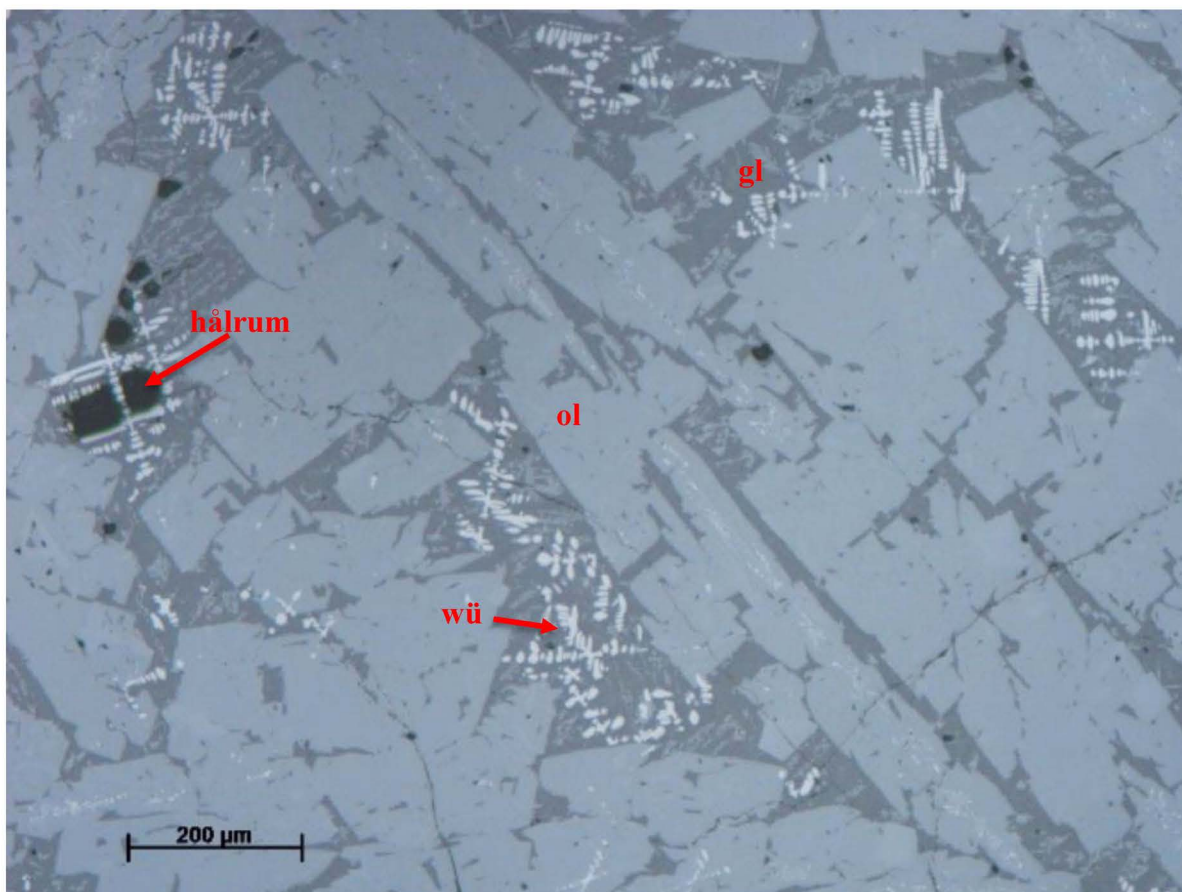
Resultat från tunnslipsanalyserna

Tunnslipsanalyserna har gjorts i påfallande (planpolariserat) ljus för att identifiera materialets olika komponenter och texturella drag (Se metodtext). Undersökningarna görs i ett Zeiss Axioskop 40A polarisationsmikroskop (upp till 500x förstoring) utrustat med integrerad datoransluten kamera (Zeiss AxioCam MRc5) för kontinuerlig digital dokumentation av analyserna. De detaljerade tunnslipsanalysresultaten finns hos respektive slag. I denna del visas foton från mikroskopet för samtliga för att de lättare ska kunna jämföras med varandra. Först visas några foton med de karaktäristiska drag och de mineral (se metodtexten) som förekommer i de flesta slaggerna. Sedan följer analyserna för respektive slag. För var och en av dem visas en översiktssbild (lägsta förstoringen) och en mer detaljerad bild.

Ett vanligt drag i slaggerna från Fjugesta är att de är uppbyggda av många små tunna slaggsträngar som har stelnat efter hand, på varandra, vartefter de har runnit ner i slagguppsamlingsgropen. I vissa slagges ses de tydligt på ytan, i andra fall är de mer diffusa. I tunnslipen framträder de ofta med hjälp av skillnader i kornstorlek, dvs. finkorniga slagges visar snabb avkylning och grovkorniga långsam avkylning. Det innebär att varje slaggs yttre har stelnat snabbt, medan mer centrala delar har stelnat långsammare och kristallerna har haft mer tid att växa till (Fig. 2C:11).



Figur 2C:11. Foto från mikroskopet, reflekterande belysning. Översiktssbild från lägsta förstoringen på slag 1096A i. Här ses tre olika slaggsträngar som stelnat mot varandra (Se hela slaggen med flera slaggsträngar). Varje slaggsträng är finkornigare (mindre kristaller) i ytterkanten jämfört med mer centralt (Snabbare avkyl i ytskiktet). Kontakterna, längs de färgade linjerna, mellan dem kantas ställvis också av små hålrum (svarta fläckar). Även den grå ytan där skalstrecket finns, samt den trekantiga grå ytan i bildens överkant är hålrum.

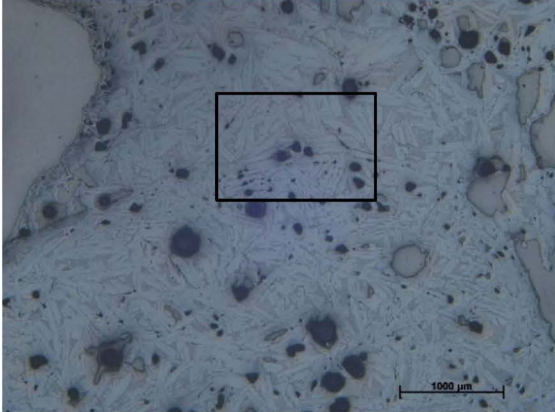



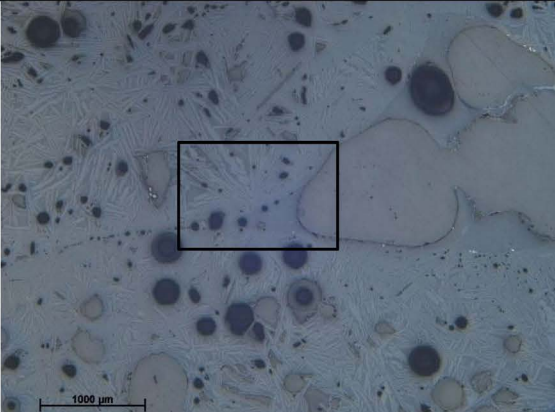
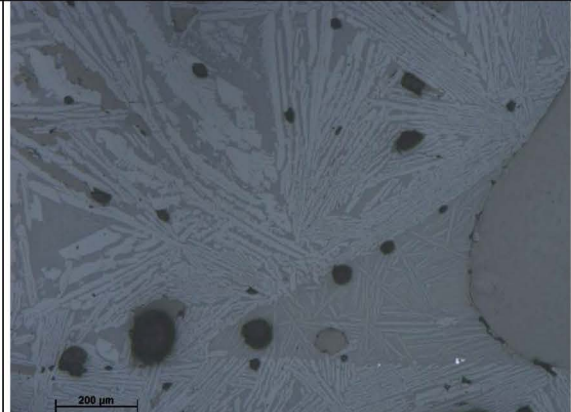


Figur 2C:12. Foto från mikroskopet (exempel från slag A1335A) som visar de mineral/faser som vanligen förekommer i slaggerna. Olivin (ol) är ljus grå ofta långsträckta kristaller. Wüstit (wü) är ljusa, dendritiskt formade. Den mörkare grå glasfasen (gl) är den extremt finkorniga (glasiga) mellanmassan, mellan kristallerna. Svarta fläckar är hålrum.

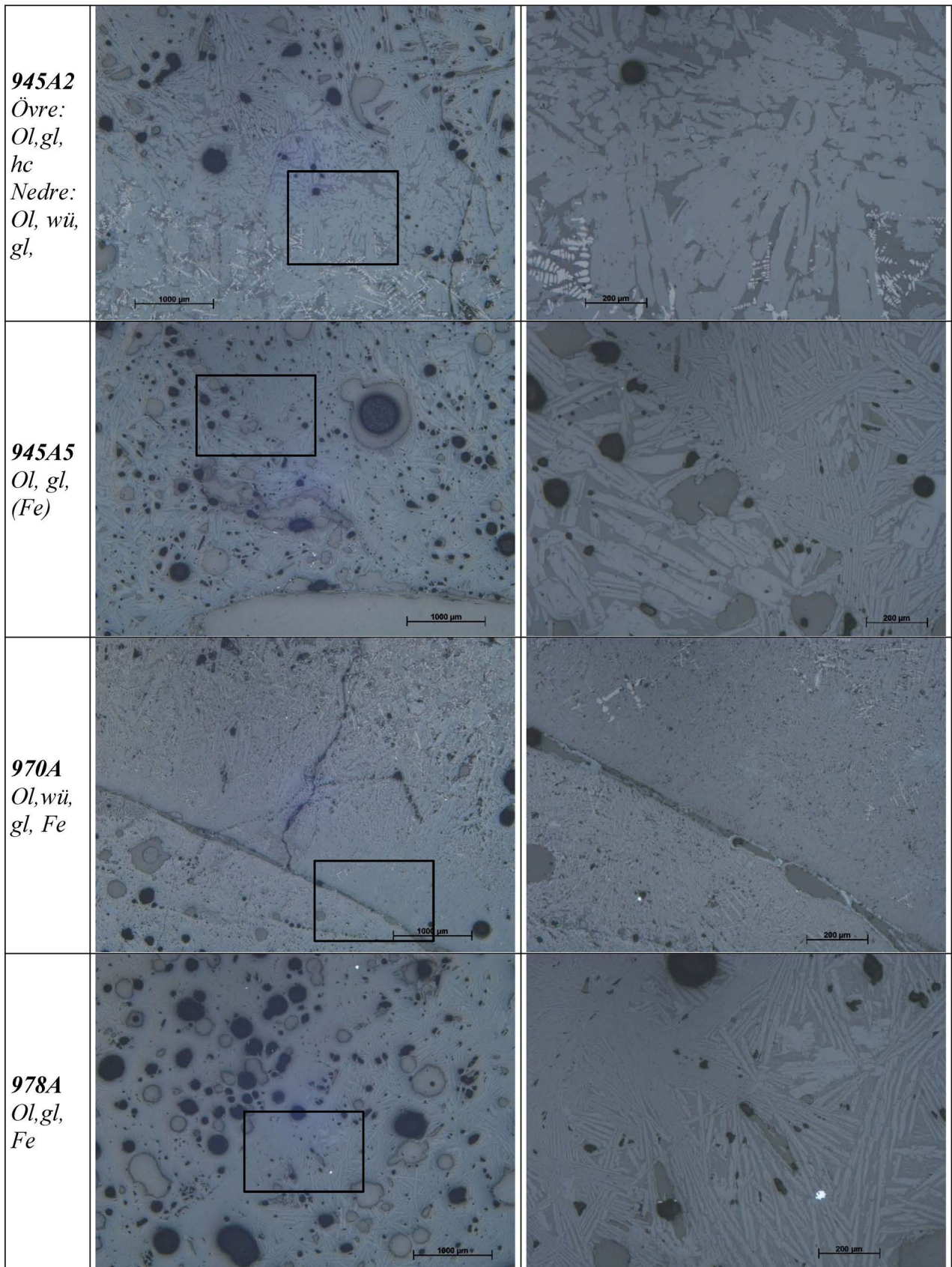
Som beskrivs i metodtexten består slag huvudsakligen av mineralen *olivin* och *wüstit*, mer sällan *hercynit*, samt av *glas* (Fig. 2C:12). Olivin och glas förekommer i samtliga slagger från Fjugesta. Olivin (järnsilikat) uppträder ofta som långsmala kristaller; i dessa slagger i varierande kornstorlek. Mineralens kornstorlekar är också betydelsefulla där finkorniga slagger visar snabb avkylning och grovkorniga långsam avkylning. Järnoxiden *wüstit*, FeO, är också ett mycket vanligt inslag i framför allt blästugnsslagger och förekommer även i slaggerna från Fjugesta, men inte alla. Om höga koncentrationer av wüstit förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög (och tvärtom). Hercynit (innehåller järn, aluminium och syre) förekommer i ett fåtal slagger i mindre mängd. Glas utgör slaggernas "restsmälta" och kan variera kraftigt i sammansättning.

Ofta finns även en mindre mängd metalliskt järn närvarande, vanligen som små droppar fördelat i slaggen. I slaggerna från Fjugesta är förekomsten av metalliskt järn dock tämligen litet; i vissa slagger saknas det t.o.m. nästan helt, i andra är det mer vanligt.

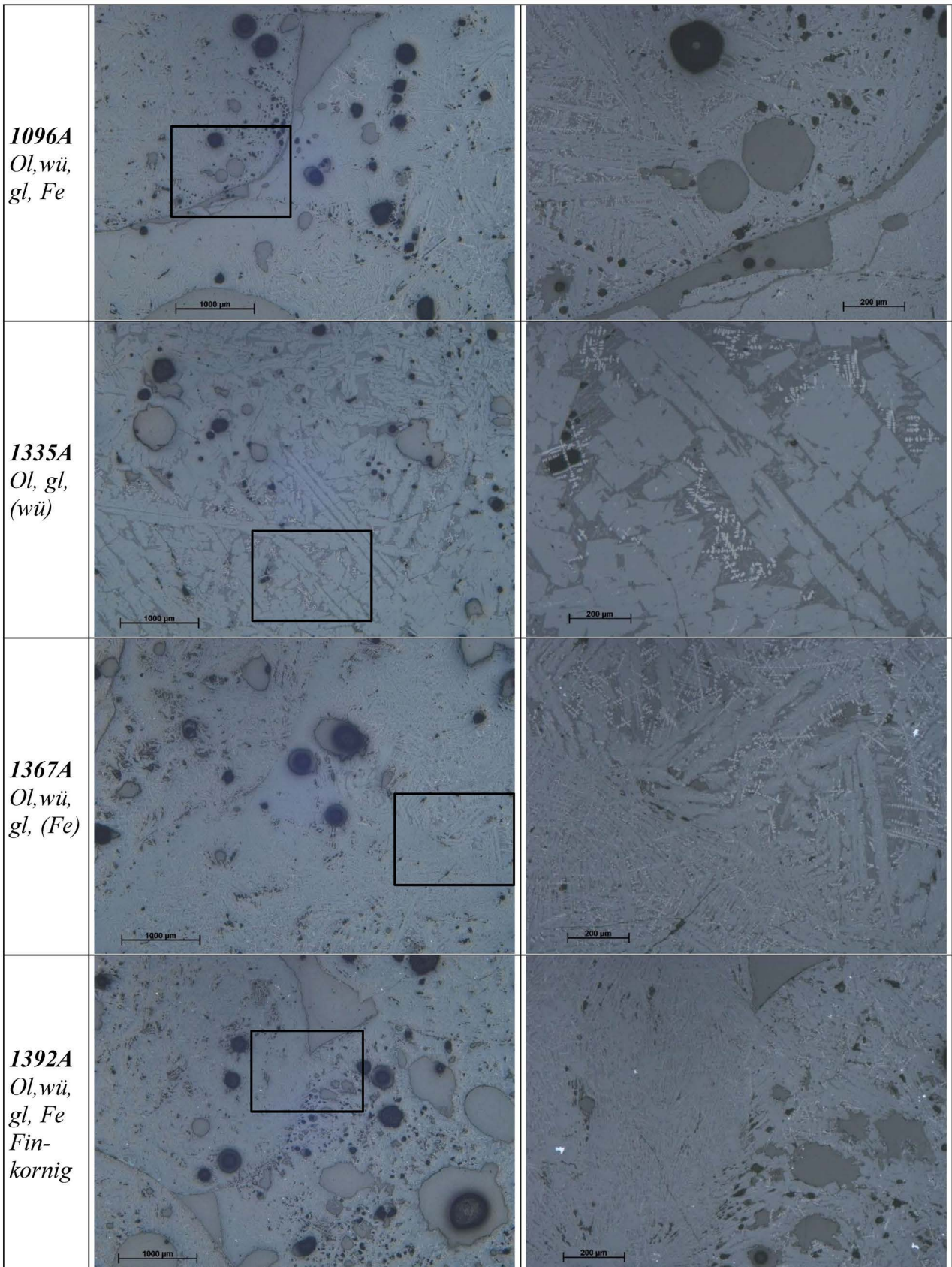
Figur 2C:13. Mikrofoton på de analyserade slaggerna. För varje slag visas till vänster en översiktsbild (lägsta möjliga förstoring). Där ses, mer eller mindre tydligt, kontakten mellan flera slagglöden med hjälp av olika sammansättning och/eller olika kornstorlekar. Till höger ses en detaljbild från rutan i respektive översiktsbild. Se de schematiska foton Fig. 2C:1–10 som bakgrund. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer: Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, hc = hercynit och Fe = metalliskt järn (små vita droppar). Grå och svarta fläckar är hålrum.

Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
847A Ol, gl, (hc, wü, Fe)		
882A1 Ol, gl, (hc, Fe) Fin- kornig		
905A Ol, gl, (hc, wü, Fe)		

Figur 2C:13. forts



Figur 2C:13. forts



Slagger som endast har granskats

Ugn A865

Slaggerna, knappt 7 kilogram, från *ugn A865* är genomgående *ljusa* i färgen. Tunna enstaka slaggsträngar förekommer såväl som något större slagger som är uppbyggd av flera pålagrade tunna slaggsträngar. Många är runda (cirkelformade) i profil, men även tunna, platta slaggsträngar (Fig. XX) utgör ett vanligt inslag från *ugn A865*. Dessa slagger har stelnat mot en plan begränsningsyta, *troligen stenar*, som har ingått i konstruktionen. Bottenytan på en slagg har också tydliga avtryck från överytan på en tidigare stelnad slagg. Det innebär att den tidigare slaggen har haft tid att kylas av och stelna och inte har smält samman med den efterföljande slaggen (Fig. 2C:14).



Figur 2C:14. A865. Tunna, platta, ljusa slaggsträngar. A: ovansidan. B: undersidan där slaggen till höger har avtryck från en slagg.

Ugn A874

Slaggerna, drygt 4 kilogram, från *ugn A874* domineras av *ljusa* slagger, vanligen tunna stearinformade strängar (Fig. 2C:15). Enstaka något större slagger utan urskiljbara slaggsträngar förekommer också men inga stora bottenlagger. Bland slaggerna finns ett antal med ljusa fläckar på ytan. Detta förefaller vara kvartskorn som delvis har smält fast på slaggens yta. Denna företeelse har inte undersökts närmare men skulle kunna vara sand (från slagguppsamlingsgropen) som passivt har smält fast i slaggen.



Figur 2C:15. A874. Två ljusa, stearinformade slagger. I brottytan på slaggen till höger ses ljusa fläckar som är osmälta mineral-korn (kvarter).

Ugn A913

Slaggerna, knappt 2 kilogram, från *ugn A913* är genomgående *mörka*. De utgörs av stearinformade slaggsträngar med något varierande dimension från 5–10 mm i tvärsnittsdiаметer. Slagger som är uppbyggda av flera pålagrade slaggsträngar förekommer också men riktigt stora bottenlagger saknas. Inte heller bitar med större sammanhängande slaggvolymmer förekommer. Den största slaggen mäter 65×65×50 mm och väger 190 g. Flera slagger har ett ytskikt som förefaller vara poröst, möjligen sekundärt påverkat av vittring. Vedavtryck är vanliga, även på de mindre slaggerna. Däremot saknas avtryck efter stenar eller bottenformer.

Ugn A937

Från *ugn A937* finns totalt endast knappt 1 kilogram slagg som mestadels utgörs av stearinformade slaggsträngar, antingen enstaka strängar eller flera pålagrade (Fig. 2C:16A). Men ingen större slagg: den största mäter 60×35×60 mm och väger 90 g. Alla slagger är mörka. Diffusa kolavtryck ses. Slaggmängden är ringa, men visar likheter med den övergripande bilden av slagger, men tillför inget ytterligare till helhetsbilden.



Figur 2C:16. Representativt urval av slagger. A: från *ugn A937*. B: från *A988*, med typiska stearinformade, mörka slagger.

Ugn A988

Slaggerna, knappt 3 kilogram, från *ugn A988* (Fig. 2C:16B) utgörs av mörka, stearinformade slaggsträngar av något varierande tjocklek. Många är tunna, med cirkelformat tvärsnitt, ca 5 mm i diameter. Andra är något tjockare och ovala i tvärsnitt, ca 15×7 mm stora. Bland dem finns också exempel med skrynkligt ytskikt (se också slagg från *ugn A970*). Här förefaller det närmast som om slaggen har stelnat på ytan och försökt flyta vidare men har hindrats (av tidigare bildad slagg) så att en bredare, något knölig slagg har formats. Enstaka större slagger är uppbyggda av flera tunna slaggsträngar, men större bottenlagger saknas. Den största slaggen mäter 75×55×35 mm och väger 100 g. Små kol-/vedavtryck förekommer (ca 15×10×10 mm).

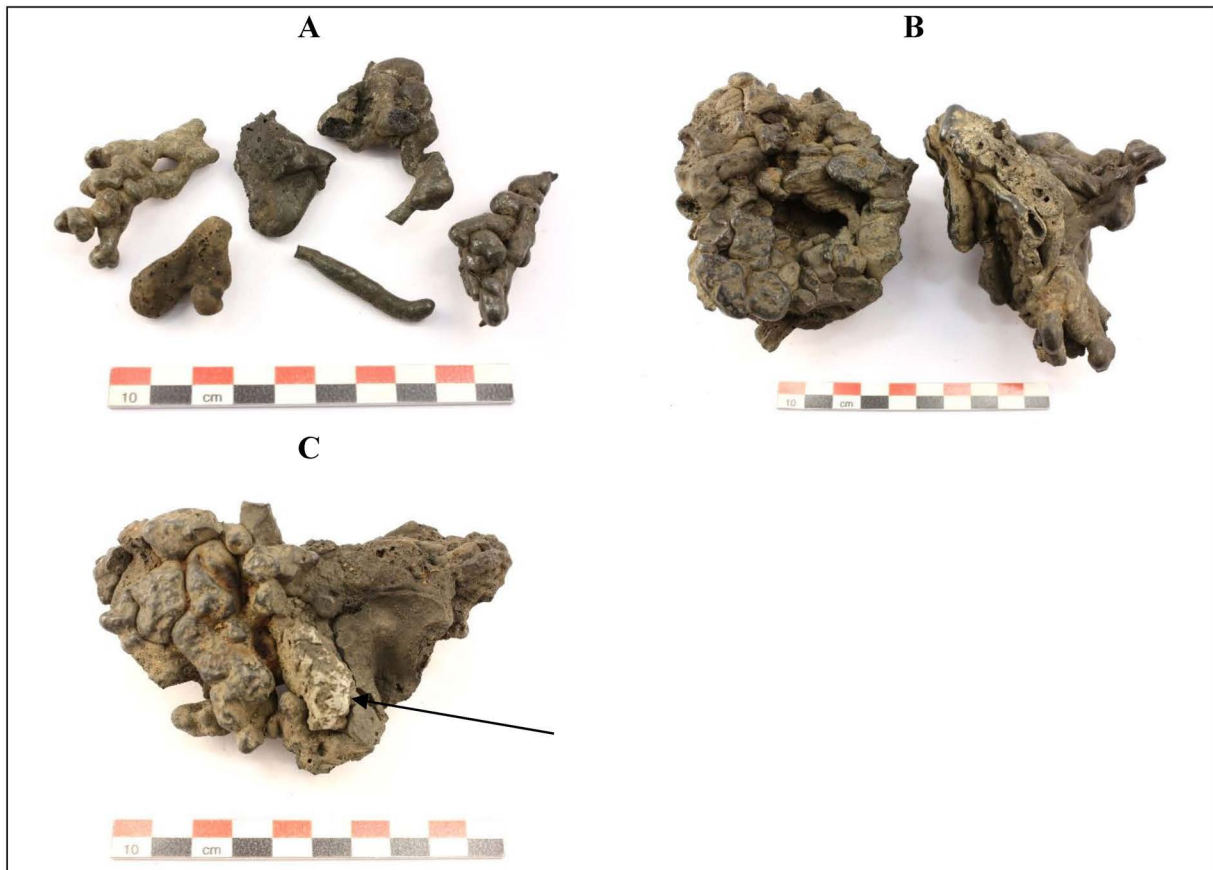
Ugn A1042

Även från *ugn A1042* är det tunna dropp- och stearinformade slaggsträngar som dominerar i materialet, antingen enstaka eller flera tillsammans. Huvudsakligen är de ljusa i färgen. Större bottenlagger saknas dock. De fåtals större slagger som finns är uppbyggda av tunna pålagrade slaggsträngar. Den största mäter 140×55×50 mm och väger 498 g. Totalt är nästan 7 kilogram tillvarataget från ugnen.

Ugn A1313

Ugn A1313 innehåller en variation med allt från tunna enstaka stearinformade slaggsträngar (ca 5 mm i tvärsnittsdiаметer) till något större slagger med fler pålagrade slaggsträngar (Fig. 2C:17A–B), totalt knappt 5 kilogram. De allra flesta är mörka. Några strängar förefaller ha stoppats upp av något hinder och staplats på varandra. Större slagger, uppbyggda av många pålagrade stearinformade slaggsträngar

förekommer, men är få. Den största mäter 90×85×55 mm och väger 450 g. Den har mindre slaggsträngar nära botten och större längs överytan. Sporadiskt förekommer kol- och vedavtryck, det största 60×25×10 mm. Ett fåtal svagt magnetiska klumpar kan eventuellt innehålla metalliskt järn, men flera andra liknande har visat sig sakna metall. En slagg har ett inkapslat fragment av gråbränd lera längs bottenytan (Fig. 2C:17C). Detta skulle kunna vara nedramlat från en högre position i ugnschaktet (när det var tomt) – jämför analyser av den tekniska keramiken.



Figur 2C:17. Slagger från ugn A1313. A: typiska stearinformade, mörka slagger. B: större slagger uppbyggda av flera tunnare slaggsträngar och med vedavtryck. C: slagg med inkapslat fragment av gråbränd lera (vid pilen) i botten.

Ugn A1328

Från Ugn A1328 finns ca 20 kilogram slagg. Trots den förhållandevis rikliga mängden utgörs det mesta av mindre slagger. Endast någon enstaka större slagg förekommer. Slaggsträngar, mestadels mörka, med tunnare såväl som tjockare tvärsnittsdimension förekommer. Vedavtryck har också observerats.

Ugn A1358

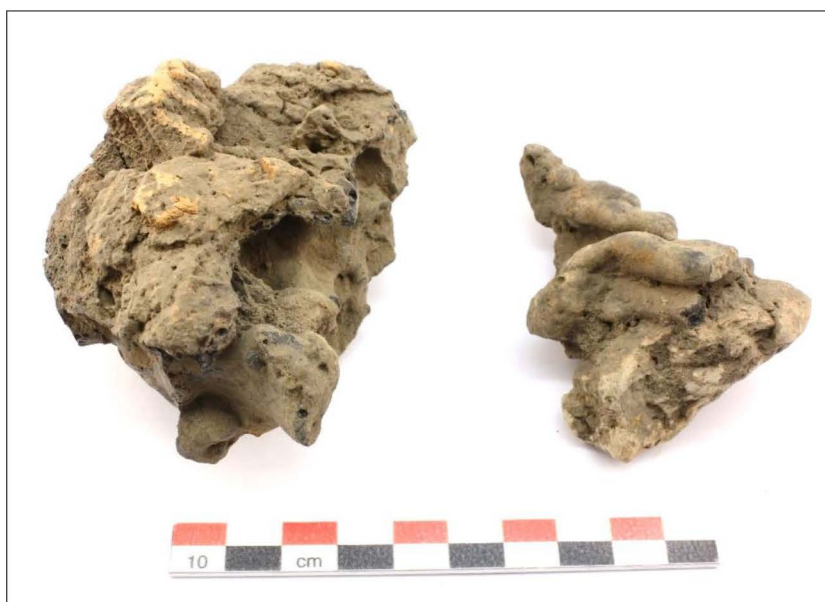
Från Ugn A1358 finns också en stor mängd slagg, drygt 21 kilogram. Här finns en variation av slaggar alltifrån tunna till något tjockare, mörka stearinformade slaggsträngar, antingen enstaka eller flera pålagrade. Vedavtryck, i flera riktningar är vanligt förekommande, som mesta ca 60 mm långt och 25×15 mm tvärsnitt (Fig. 2C:18A–B).



Figur 2C:18. En av de större slaggerna från ugn A1358 med flera vedavtryck, sedd från två olika sidor. A: ett centralt hål efter ved (pinne?) som slaggen har stelnat runt. B: även här ses ett centralt avtryck, och i överkanten plana avtryck efter ytterligare vedstycken (vid pilen).

Ugn A1375

Slaggerna från ugn A1375 uppgår till drygt 3 kilogram. Likt i de flesta andra ugnarna förekommer mörka stearinformade slaggsträngar, men de allra tunnaste är underordnade jämfört med från många andra ugnar. Det förekommer också större slaggar uppbyggda av flera pålagrade slaggsträngar. Ett markant inslag i materialet från denna ugn är att slagg förekommer i samma bitar som (röd)bränd lera (ugnsvägg (?); se även analyser av SKEA, bilaga 1) i större utsträckning än vad som har noterats från andra ugnar (Fig. 2C:19).

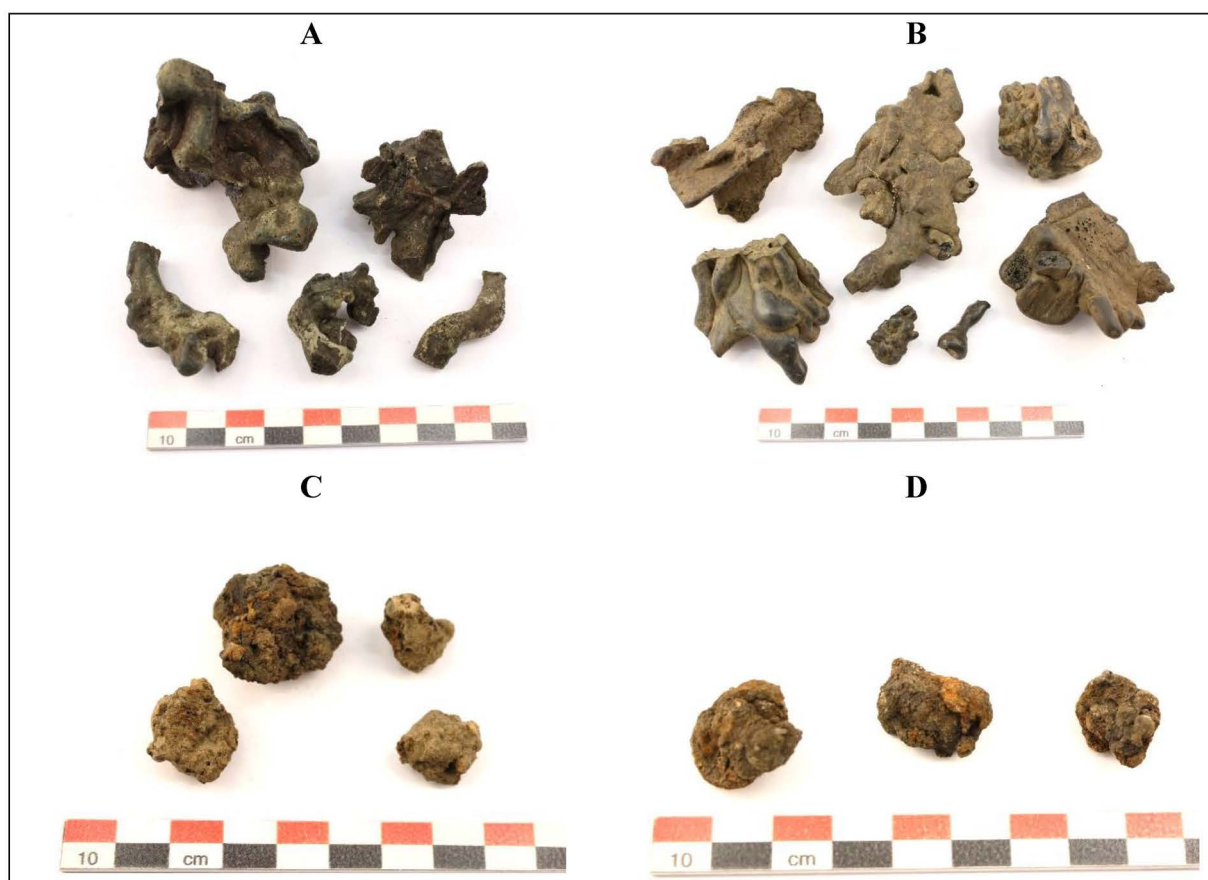


Figur 2C:19. Slaggar från ugn A1375 där slagg har smält samman med rödbränd lera.

Ugn A1402, A1420 och A1430

Från ugnarna A1402 och A1420 är slaggmängden ringa, ca 750 gram respektive 150 gram. Det innebär att det inte ryms några större bottenlagger bland dessa. Från båda ugnarna finns dock de karaktäristiska, tunna, mörka dropp- och stearinformade slaggstängar (Fig. 2C:20A) som är utmärkande för hela lokalen. Den största slaggen från ugn A1402 mäter 45×35×15 mm och väger 28 g, från A1420 mäter den största slaggen 60×35×20 mm och väger 49 g. I dessa fall rör det sig om slagger som är uppbyggda av flera pålagrade slaggstängar. Trots att slaggerna är små är det dock möjligt att urskilja små kolavtryck på dem. Från A1402 finns också några små magnetiska klumpar (Fig. 2C:20C) där en innehåller lite metalliskt järn och har analyserats vidare.

Ugn A1430 innehåller något mer slagg, knappt 2 kilogram, men inte heller från denna finns några större bottenlagger. Den största mäter 70×40×20 mm och väger 84 g. Tunna, mörka stearinformade slaggstängar (Fig. 2C:20B) dominerar även från denna ugn. Trots de små slaggerna är det möjligt att se kol-/vedavtryck. Från A14302 finns också några små magnetiska klumpar (Fig. 2C:20D) varav två med metalliskt järn har analyserats vidare.



Figur 2C:20. Representativt urval av slagger och magnetiska klumpar. A: från ugn A1420. B: Från A1430, med typiska stearinformade, mörka slagger. I B ses även kolavtryck, till exempel på slaggen längst ned till höger. C: Från A1402 där den övre till vänster är analyserad (prov A1402C) D: Från A1430 där de två till vänster är analyserade (prov A1430C1 och C2).

Kolningsgropen A1446

Från kolningsgropen A1446 är ca 3,5 kilogram slagg tillvarataget. Bland slaggerna förekommer stearinformade slaggstängar likt de som är noterade från ugnarna, men inte i lika stor dominans. Här finns också några trögflutna (magnetiska) klumpar samt smälta bitar som snarare innehåller mer ugnsvägg än slagg. Det förekommer dock ingen annan typ av slagg än den som har noterats från de många ugnarna. Med tanke på att slaggerna sannolikt är sekundärt förekommande i denna anläggning har de inte studerats mer detaljerat utan slagg från ugnar har prioriterats för de detaljerade analyserna.

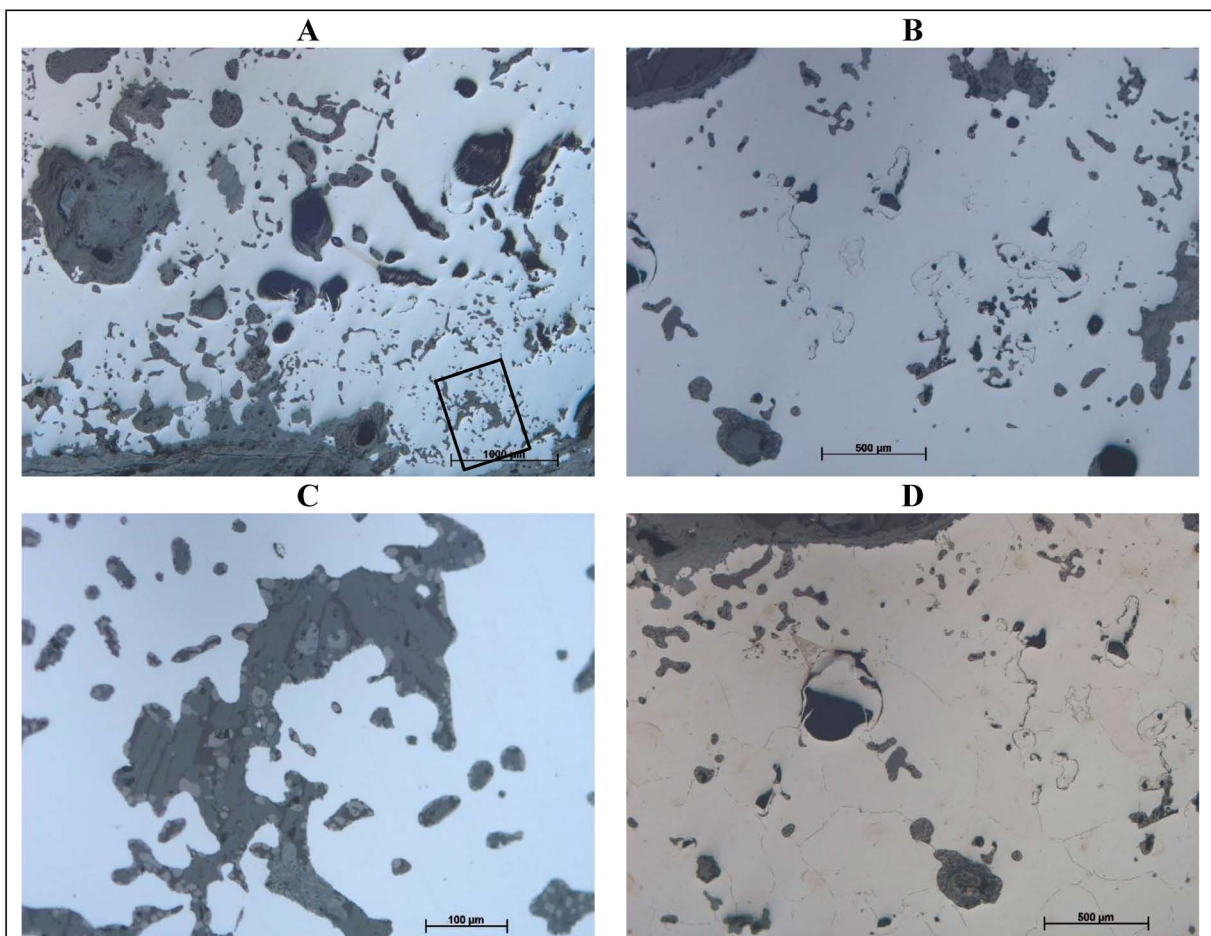
Bilaga 2D. Registrering och analys av metalliskt järn

I slaggmaterialet förekommer trögflutna, rostiga klumpar i mindre omfattning. En del av dessa är magnetiska vilket antyder att de kan innehålla en del metalliskt järn. Många av dessa delades, men flertalet visade sig innehålla rost. Det innebär att innehållet av metalliskt järn i slaggerna generellt är låg. Ur produktionssynpunkt, med endast en liten förlust av metall är det bra. Det innebär dock att det är svårt att hitta metall att analysera för att få en inblick i vilken typ av järn som tillverkades.

Inledningsvis prioriterades magnetiska klumpar från de ugnar varifrån slagg och/eller ugnsvägg hade valts för analys. Men, de flesta sakande metall varför vi fick välja de klumpar där det finns metall kvar oavsett kontext (se tabell 2:2). Nedan presenteras resultaten från de metallografiska analyserna.

Järn från ugnarna A978, A1096, A1402 och A1430

Från A1096 och A1402 finns oregelbundna klumpar, några centimeter stora som vid delning visade sig innehålla en del metalliskt järn. Rost, en del hålrum och slagg förekommer också, vilket också bekräftas vid den metallografisk analysen av ingjutna och polerade prover.



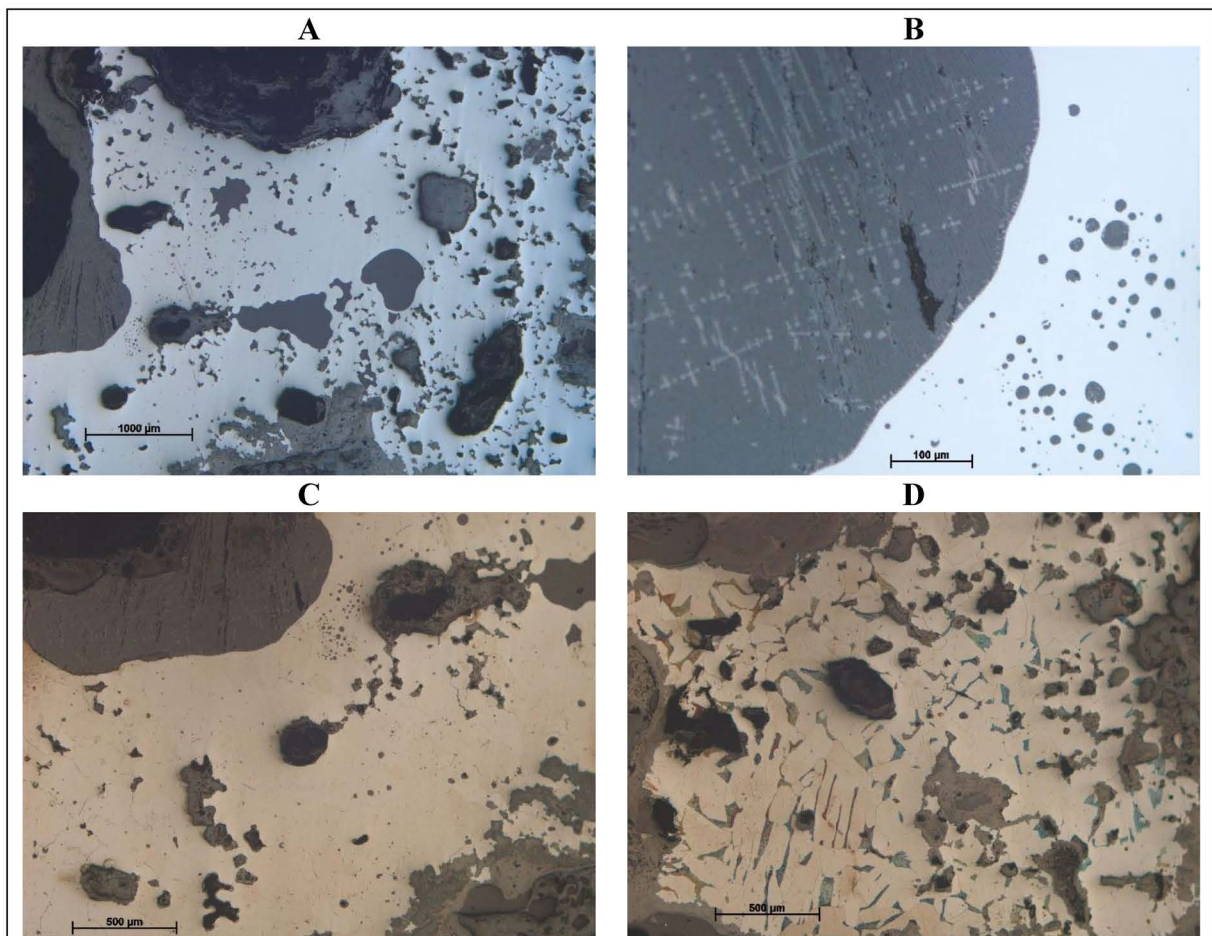
Figur 2D:1. Foton från mikroskopet på det polerade provet 1096C. A: metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (mörkt grå), rost (flammigt grå) och oregelbundet formade slagginneslutningar (detalj i C). B: större område med metalliskt järn. C: detalj på slagginneslutningar (från rutan i A) med olivin (ljus grå), en glasfas (mörkt grå) och wüstit (blek). D: Efter etsning av den polerade ytan som visar en textur med ferritkorn (fält i ljus bruna nyanser) med linjer i kornkontakterna, dvs. kolfattigt järn.

A1096C

Vid den metallografisk analysen av det avlånga tvärsnittet i prov A1096C framgår att det domineras av metalliskt järn, omgivet av lite slagg men mestadels sekundära produkter och fastkittat material, inklusive kolstycken. Dessutom förekommer rikligt med slagginneslutningar (Fig. 2D:1A–C). Dessa är runda och oregelbundna i formen och innehåller relativt grovkornig olivin och wüstit samt en glasfas i något varierande proportioner.

Efter etsning av metallytan visar det sig att järnet domineras av grovkornig ferrit, med små mängder cementit längs kornkontakterna (Fig. 2D:1D).

Dominansen av ferrit innebär att järnet är mycket kolfattigt, eller i det närmast kolfritt. Den grova kornstorleken på järnet, och de oregelbundna formerna på slagginneslutningarna visar att järnet är ett obearbetat avfall, vilket också överensstämmer med fyndomständigheterna i blästugnens slagguppsamlingsgrop tillsammans med slaggen.



Figur 2D:2. Foton från mikroskopet på det polerade provet 1402C. A: metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (mörkt grå), rost (flammigt grå) och oregelbundet formade och runda slagginneslutningar (detalj i B). B: detalj på slagginneslutningar (från rutan i A) med finkornig dendritiskt formad wüstit (blek) samt olivin/glas (grå). C: Efter etsning av den polerade ytan som visar en textur med ferritkorn (fält i ljus bruna nyanser) med linjer i kornkontakterna, dvs. kolfattigt järn. D: Efter etsning i ett område i ytterkanten där ferrit förekommer tillsammans med perlit (blåspräcklig) och kolhalten därmed är högre.

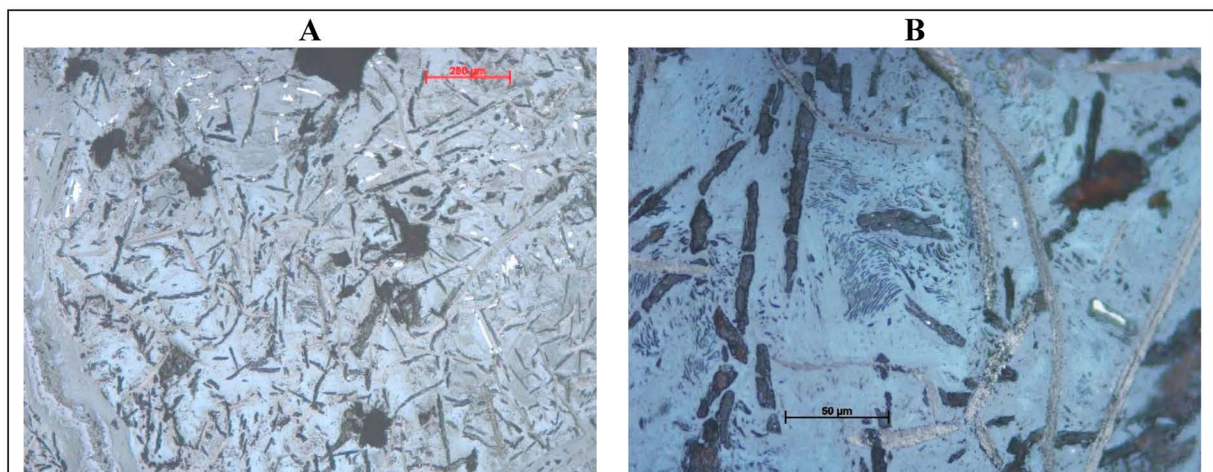
A1402C

Den magnetiska klumpen från A1402 är av samma storleksordning och med likartad tvärsnittsform och innehåll som A1096C. Den metallografiska analysen visar en blandning av metalliskt järn och slagginneslutningar med olika innehåll, mestadels rundade former (Fig. 2D:2A–B). Även rikligt med hålrum förekommer. Runt metallen finns ställvis en tunn zon av slagg, men mestadels rost och fastkittat material (sand).

Slagginneslutningarna är varierande i storlek, form och innehåll; från små runda till större och oregelbundna. En del av dem domineras av en homogen glasfas, medan andra innehåller långsmala olivinkrystaller (relativt finkorniga), mindre mängd wüstit och en glasfas (Fig. 2D:2B). Slaggen som omgärdar metallen utgörs av olivin och en glasfas.

Efter etsning av metallytan ses att grovkornig ferrit dominerar, med ställvis något förtjockade kornkontakter av cementit. Nära ytterkanten (kortsidorna) finns något högre kolhalt med lite perlit mellan ferritkornen (Fig. 2D:2C–D).

Likt A1096C visar den grovkorniga ferriten i A1402C att järnet är mycket kolfattigt, eller i det närmast kolfritt. Den grova kornstorleken på järnet, och de oregelbundna formerna på slagginneslutningarna visar att järnet är ett obearbetat avfall, vilket också överensstämmer med fyndomständigheterna i blästugnens slagguppsamlingsgrop där den har påträffats tillsammans med slaggen.



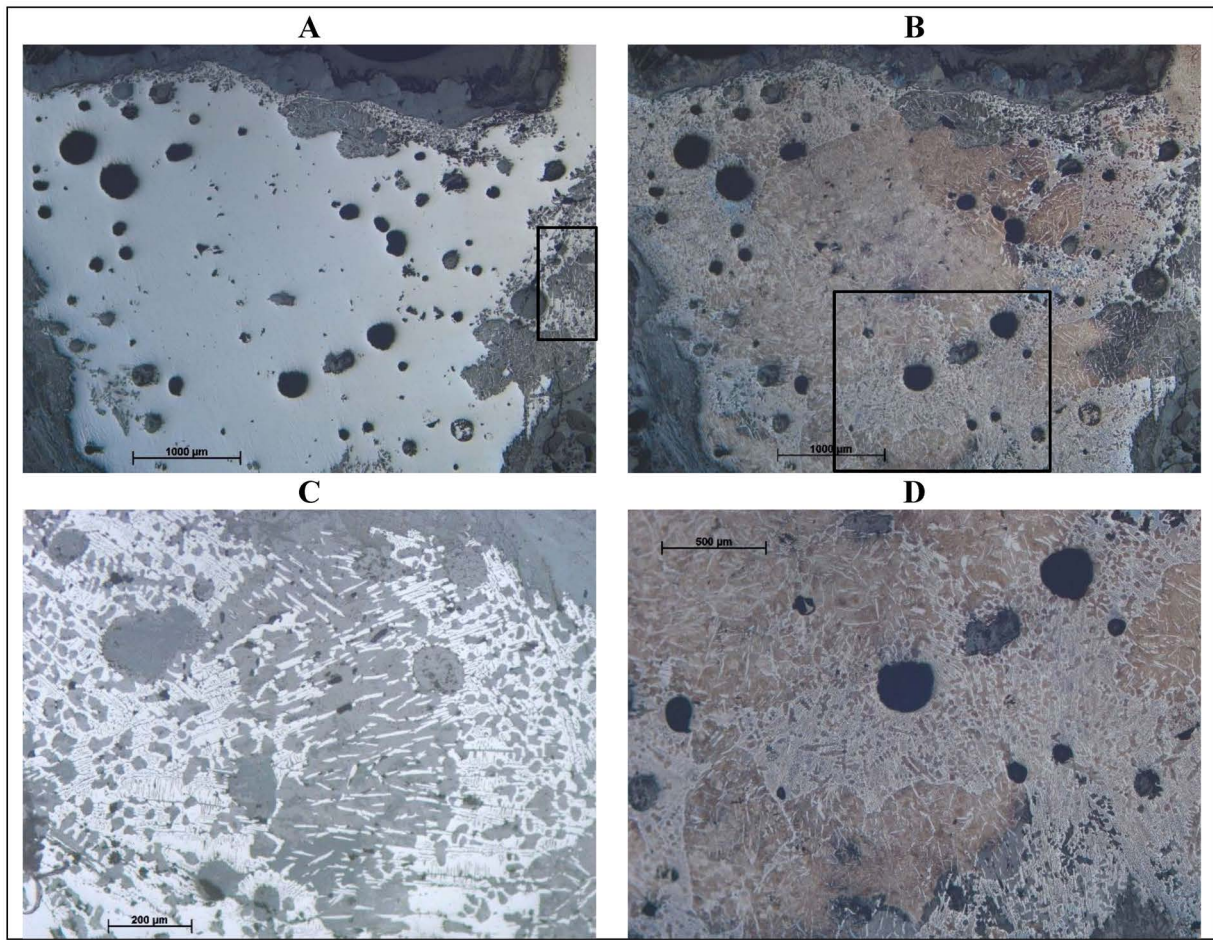
Figur 2D:3. Foton från mikroskopet på det polerade provet 978C. A: korroderat järn i olika grå nyanser med svarta lameller som fläckvis har bevarat metalliskt järn (vitt) dessa är cementit (jämför föregående figur (C och D) B: Detalj som visar att de grå kornen (centralt) har små tunna lameller i en textur som är typisk för perlit. Detta prov visar trots att det är i det närmaste helt korroderat, tecken på en hög kolhalt.

A978C och A1430C

Från A978 och A1430 (2 bitar vardera) har små magnetiska klumpar, knappt 1 cm stora, analyserats. De båda från A978 är kantiga fragment som är omgivna av fastkittat sekundärt material. Med blotta ögat kan inget metalliskt järn ses, inte heller vid låg förstoring under mikroskopet. En textur med mörka lameller i en ljusare mellanmassa framträder och vid högre förstoring kan små metallrester (några mikrometer stora) ses i lamellerna. Denna selektiva korrosion antyder att det rör sig om korn av perlit med lameller av cementit, dvs. ett järn med högkolhalt ((Fig. 2D:3). Samma textur ses också i delar av A1430C1 (se nedan) där också mer metall är observerat.

De båda proverna A1430C1 och C2 är centimeterstora nästan kulformade klumpar. I delat tvärsnitt ses att de domineras av metall, men också innehåller både rost och hålrum. Prov A1430C1 är i det närmast cirkelformad i tvärsnitt, med ett större hålrum nära ytterkanten. En del mindre hålrum förekommer också. Den domineras av metalliskt järn som är omgivet av ett tunt skikt av rost och fastkittat material (sand?), inklusive kolstycken. Metallen är selektivt korroderad och avslöjar två olika texturer. Båda antyder hög kolhalt (Fig. 2D:4A, C). Den ena texturen har rundade, dendritiska former som är typiska för gjutjärn. Den andra har långsmala lameller bevarade i en mer korroderad omgivning (perlitkorn). Den höga kolhalten ses ännu tydligare efter etsning av provet (Fig. 2D:4B, D). I kärnan dominerar perlit med cementitlameller och mot kanten förekommer gjutjärn. Klumpen har därmed en genomgående hög kolhalt, även om den är något ojämn, med tendens till högre kolhalt längs med ytterkanterna.

Prov A1430C2 är likartad men något mer korroderad. I denna förefaller kolhalten snarare vara något lägre nära ytterkanten.



Figur 2D:4. Foton från mikroskopet på det polerade provet 1430C1. A: metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (svart och mörkt grå), rost (flammigt grå). Områden med selektiv korrosion finns också (detalj i B). B: samma yta som i A efter etsning. Bruna fält är perlit, med ljusa lameller av cementit. Ljusare områden är gjutjärn (detalj i D). C: Detalj från A med selektiv korrosion där vitt är bevarad metall och grå områden är rost. Samma textur ses i den etsade metallen (i B och D) D: Detalj från B.

Järnfynd från boplatsoområde L2021:368

Från en arkeologisk förundersökning bredvid järnframställningsplatsen påträffades vid metalldetektering en liten järnbit (F3) som har valts ut av uppdragsgivaren för att jämföra med slagger och metaller från järnframställningsplatsen. Boplatsoområdet är inte daterat och det är oklart huruvida det är samtida med järnframställningsplatsen.

Metallbiten (Fig. 2D:5), som är starkt magnetisk, är plant droppformad, 20 mm lång, 3 mm tjock och varierar i bredd från 2 till 8 mm och väger 1,4 g.

Polerprovet, som är ett långsmalt rektangulärt tvärsnitt, med rundade hörn, domineras av metall, omgivet av en tunn kant av rost. Fläckvis förekommer även rost en bit in i metallen.

Slagginneslutningar som är karakteristiska för obearbetat blästjärn, dvs. oregelbundna i formen och vanligen bestående av flera faser (jämför fig. 2D:1–2), förekommer ej. I metallen finns dock små (5 mikrometer) droppar som följer ett mönster som sannolikt är järnets kornkontakter. Denna, ej identifierade fas, med sin droppform tyder på att metallen har varit smält (flytande), dvs. till skillnad mot blästugnens framställning av järn i fast form. Denna iakttagelser stödjer den yttre formen som också antyder att järnet har varit smält och sammantaget tyder det på en mer sentida process.



Figur 2D:5. A: Järnklump F3 från boplatsoområde L2021:368, bredvid järnframställningsplatsen L1981:158. B: Foto från mikroskopet på polerad yta, på det homogena ljusa metalliska järnet. Ett diffust mönster av små mörkare droppar antyder att det har stelnat från en smält, flytande, form, dvs. sannolikt inte i en blästugn.

Bilaga 2E. Kemisk analys av slag. Analystabell, diagram och utvärdering

Bakgrund, förutsättningar och upplägg av resultaten

Resultaten från de totalkemiska analyserna återfinns i sin helhet i tabell 2:3 i denna bilaga. Nedan presenteras resultaten för slaggerna från den aktuella järnframställningsplatsen med utgångspunkt i några utvalda huvudämnen och spårämnen.

Tidigare analyser (hämtade från en intern databas) från närliggande järnframställningsplatser i Viby socken (Skävi, Sågebol och Vreten; se även t.ex. Grandin & Hjärthner-Holdar 2003) används också som jämförelse för att få en uppfattning om likheter och/eller skillnader inom närområdet. Även slagger från andra lokaler i Närke ingår i jämförelsen för att få en uppfattning om normal spridning (från intern databas och se även Englund & Larsson 1999, Hjärthner-Holdar m.fl. 1999, Grandin & Ogenhall 2017, Grandin och Stilborg 2022).

De analyserade slaggerna från Fjugesta domineras alla av järn och kisel, vilket är förväntat för slagger från järnålderns järnframställning i blästugn, men det finns variationer mellan dem, som diskuteras mer nedan. De innehåller också aluminium; några slagger med likartade halter som en stor del av tidigare slagger från regionen, men några också med högre halter. Dessa tas också upp mer detaljerat nedan. Även mangan, ett ämne som (kemiskt) ofta följer järn i malmer och därmed också i slagger, har tidigare mätts upp i mycket varierande halter inom regionen, men i slaggerna från Fjugesta är de mestadels tämligen låga. Detta belyser vi också mer detaljerat nedan, i kombination med spårämnet barium. Även ytterligare några spårämnen (vanadin och krom) och grupper av spårämnen (t.ex. sällsynta jordartsmetaller), ingår i följande utvärdering och tolkning.

Slaggerna jämförs också inbördes, i relation till färg, observationer från tunnslipsanalyserna med förekomst av olivin, glas, wüstit och hercynit i varierande proportioner (eller avsaknad av wüstit och/eller hercynit), och kornstorlek.

Variationen i slaggerna från tio ugnar från Fjugesta är visserligen inte av samma storleksordning som den samlade bilden för de tidigare analyserade drygt hundra slaggerna från Närke från såväl äldre som yngre järnålder, men ändå noterbar för en plats med förmodat kort brukningstid.

Några skillnader (bl.a. järn- och kiselinnehåll) kan främst knytas till *processen*, medan andra skillnader (aluminium, mangan- och bariuminnehåll samt några spårämnen) snarare kan knytas till variationer i *råvaran* (se detaljer i metodtexten).

Det innebär att processen kan ha skett mycket likartat vid upprepade tillfällen i ugnarna, men med malmer från olika malmtäkter, men också att processen har behövt modifieras (kanske marginellt) på grund av skillnader i malmens beskaffenhet. Den kemiska sammansättningen kan därmed visa likheter ur en aspekt, men skillnader ur en annan.

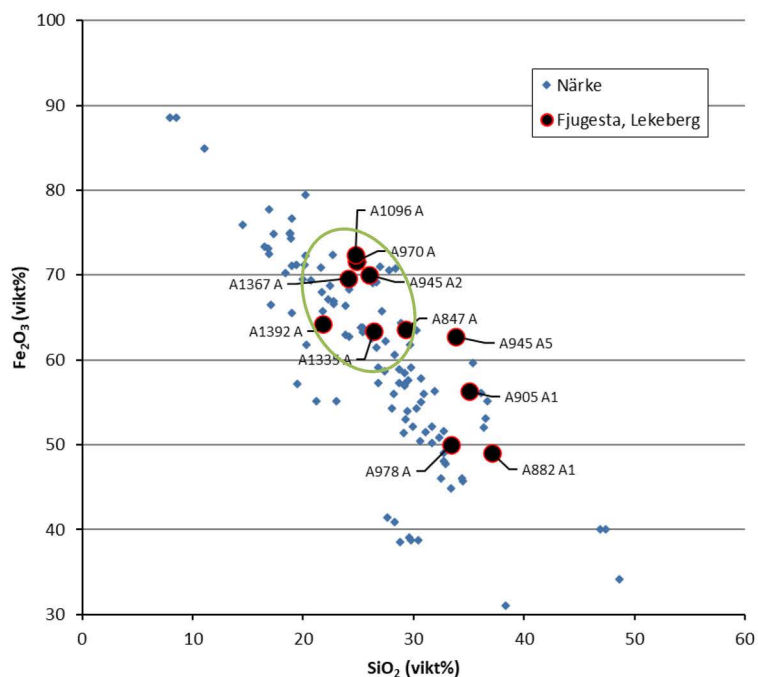
Några huvudämnen

Järn och kisel är de ämnen som vanligen dominerar i slagger från blästjärnstillverkning och generellt är ett mått på utbytet av järn – ju lägre järnhalt i slaggen desto bättre utvinning. Alla analyserade slagger domineras av järn (i förening med kisel och syre – inte som metall). De flesta slaggerna varierar mellan 56 och 72 % (angivet som Fe_2O_3 i tabell 2:3; fig. 2:E1, 2:E3), men två slagger med lägre halt, ca 50%, förekommer också. Dessa båda slagger, A882 A och A978 A, saknar järnoxiden wüstit, vilket är i linje med den låga halten.

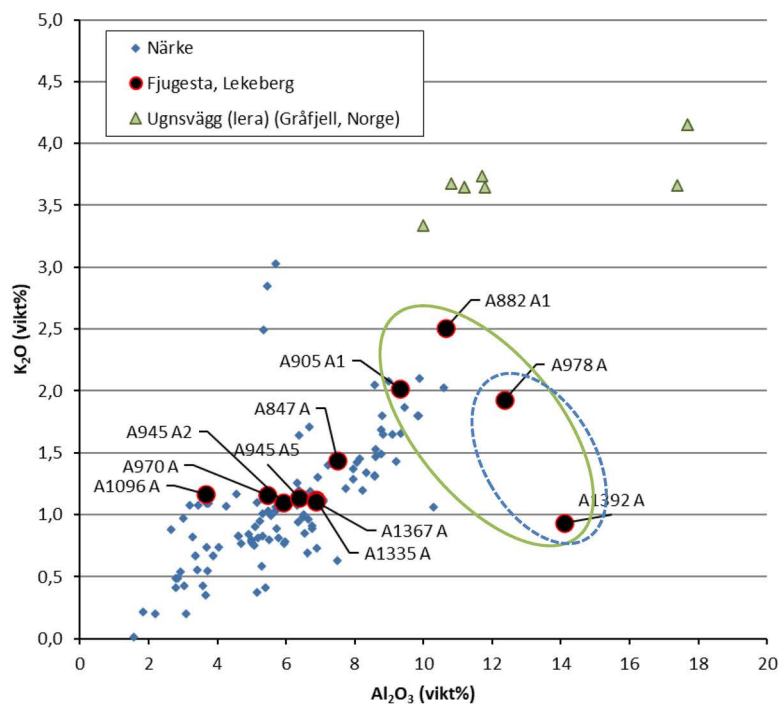
Kisel är det ämne som förekommer i näst högst halter (22–32 % SiO_2). Generellt är, som förväntat, högre kisel kopplat till lägre järn och tvärtom. Men, det finns också en grupp av slagger (A1392A, A1335A, A847A och A945 A5) som har snarlik järnhalt (63–64 % Fe_2O_3) men varierar mycket i kiselhalt (24–34% SiO_2). Det innebär att det är andra ämnen som förekommer i högre halt. I slag A1335 A är det både aluminium och mangan, men för A1392 A, med lägst kiselhalt, är det aluminium som utgör det mesta av skillnaden (14 % som Al_2O_3). Alla slagger har visserligen ett markant innehåll av aluminium, men med stor spridning (knappt 4 till 14 % som Al_2O_3 ; tabell 2:3, fig. 2:E2, 2:E3). Bland övriga ämnen (tabell 2:3, fig 2:E3) förekommer kalium (kring 1 %, med en avvikande med 2 % som K_2O), kalcium knappt till drygt 1 % (som CaO), samt natrium (Na_2O) i något lägre halt. Fosfor, som är en vanlig komponent i många limonitiska malmer förekommer i låga halter (0,1–0,4 % P_2O_5) i de flesta slaggerna, men markant högre, 1,6 % P_2O_5 i slag A1335 A.

Tabell 2:3. Rådata, kemisk analys av slagger. I övre delen huvudämnen, i nedre delen spårämnen, inklusive de sällsynta jordartsmetallerna (REE) i kursiv. Några ämnen som behandlas mer utförligt i texten är fetmarkerade. Data från ALS Scandinavia, PI23303777och PI23335484.

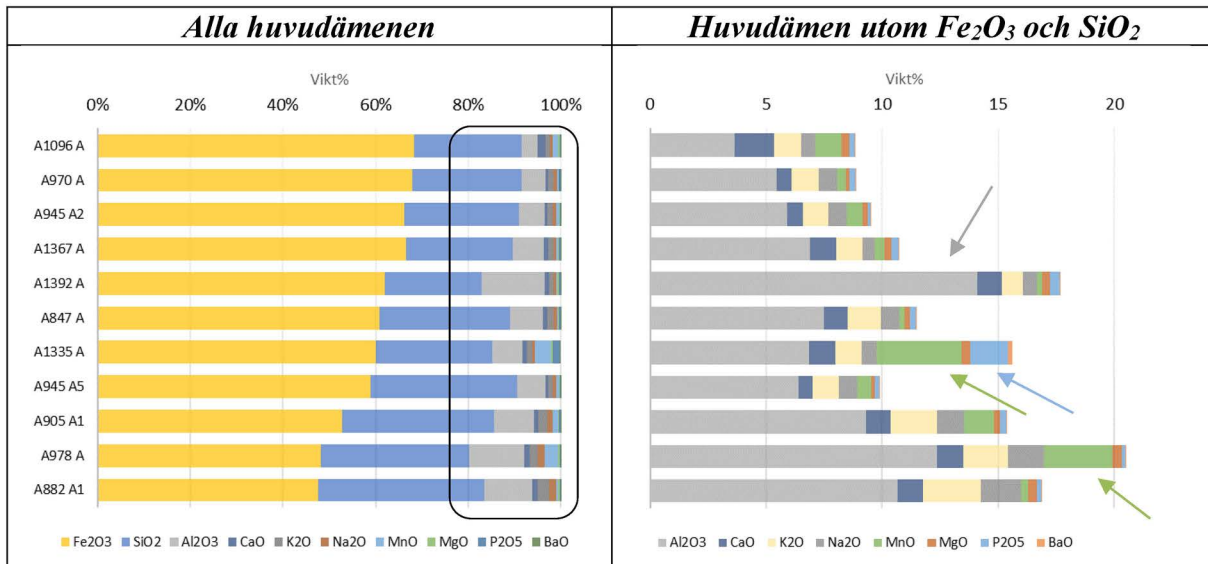
Ugn Prov		A847 A	A882 A1	A905 A1	A945 A2	A945 A5	A970 A	A978 A	A1096 A	A1335 A	A1367 A	A1392 A
SiO ₂	vikt-%	29,3	37,1	35,0	26,0	33,8	24,8	33,4	24,7	26,4	24,1	21,8
TiO ₂	vikt-%	0,11	0,13	0,16	0,14	0,14	0,09	0,18	0,11	0,17	0,11	0,26
Al ₂ O ₃	vikt-%	7,48	10,7	9,31	5,92	6,39	5,46	12,4	3,65	6,87	6,88	14,1
Fe ₂ O ₃	vikt-%	63,6	49,0	56,3	70,0	62,8	71,6	50,0	72,4	63,4	69,6	64,2
MnO	vikt-%	0,21	0,32	1,30	0,69	0,60	0,37	2,94	1,14	3,68	0,40	0,23
MgO	vikt-%	0,25	0,36	0,24	0,23	0,16	0,18	0,40	0,36	0,35	0,29	0,32
CaO	vikt-%	1,03	1,10	1,04	0,67	0,61	0,63	1,16	1,70	1,12	1,15	1,05
Na ₂ O	vikt-%	0,79	1,72	1,16	0,79	0,79	0,80	1,54	0,58	0,65	0,56	0,59
K ₂ O	vikt-%	1,44	2,51	2,02	1,10	1,14	1,16	1,93	1,17	1,12	1,11	0,93
Cr ₂ O ₃	vikt-%	0,01	0,006	0,004	0,009	0,006	0,005	0,005	0,002	0,006	0,004	0,017
P ₂ O ₅	vikt-%	0,25	0,19	0,26	0,11	0,17	0,25	0,15	0,22	1,62	0,32	0,44
SrO	vikt-%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
BaO	vikt-%	0,03	0,05	0,07	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,19	0,03	0,02
C	vikt-%	0,09	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05
S	vikt-%	0,05	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,09	0,05
Loss	vikt-%	-6,05	-4,65	-5,17	-6,2	-5,7	-5,98	-5,29	-6,48	-6,64	-6,36	-5,68
Sum	vikt-%	98,5	98,5	101,7	99,5	100,9	99,4	98,8	99,6	99,0	98,2	98,3
Li	ppm	<10	10	<10	<10	<10	<10	10	<10	10	<10	<10
Sc	ppm	20	5	5	10	7	6	10	6	7	12	23
V	ppm	413	313	201	320	325	222	168	39	226	108	677
Cr	ppm	83	50	39	71	52	47	45	22	46	45	138
Co	ppm	<1	8	<1	1	4	<1	37	<1	<1	<1	<1
Ni	ppm	<1	2	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	<1	<1
Cu	ppm	2	27	2	<1	1	<1	3	<1	1	3	1
Zn	ppm	<2	10	7	<2	7	4	38	<2	18	20	<2
Ga	ppm	3,8	8,7	6,4	4,7	5,1	5,6	9	3,8	11,1	4,1	4,6
Ge	ppm	0,6	1,3	<0,5	0,6	0,6	0,6	1,1	<0,5	0,7	0,6	0,7
As	ppm	0,2	5,7	0,6	0,2	0,4	2,5	2,3	0,1	3,3	0,6	<0,1
Se	ppm	1,7	0,5	0,3	0,7	0,6	0,3	1,1	1	1,2	1,5	1,6
Rb	ppm	42,9	71,9	53,8	34,8	31,4	37	61,3	38,5	38,2	37,3	29,1
Sr	ppm	62,7	86,7	83,8	50,2	50,7	47,5	84,7	59,7	73,6	68,2	51,7
Y	ppm	216	45	36,6	80,3	59,2	50,4	86,3	103,5	143,5	99,1	157
Zr	ppm	163	110	129	119	192	89	119	95	126	125	235
Nb	ppm	5,83	6,71	6,67	6,18	5,79	4,1	7,43	3,65	8,26	5,29	13,65
Mo	ppm	2	8	2	2	2	4	2	2	11	3	2
Ag	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
In	ppm	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	0,005	0,006	0,008	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sn	ppm	<0,5	0,9	0,5	0,7	<0,5	0,6	0,7	<0,5	0,6	<0,5	0,9
Sb	ppm	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Te	ppm	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,02
Cs	ppm	0,75	0,96	1,26	0,97	0,72	1,06	1,24	0,89	1,37	0,65	0,67
Ba	ppm	292	425	656	302	249	279	476	428	1765	293	195,5
La	ppm	205	84	59,2	98,4	93,1	48	170	84,6	186,5	113,5	259
Ce	ppm	416	163,5	205	258	318	129	624	171	478	284	556
Pr	ppm	52,8	22,8	15,95	29,5	38	15,2	44,1	21	53,2	29,7	66,1
Nd	ppm	222	87,3	62,3	119,5	156,5	63,7	167	87,9	226	115,5	245
Sm	ppm	45,8	17,2	11,85	25,1	33,2	13,05	33,1	15,1	47,6	23,1	47,9
Eu	ppm	8,6	2,61	2	4,2	5,23	2,18	4,41	2,8	6,11	4,01	6,74
Gd	ppm	45,8	13,6	9,24	22,6	24,3	12,05	26	16,15	36,9	20,1	39,1
Tb	ppm	6,52	2,02	1,52	3,45	3,48	1,83	4,02	2,22	5,6	3,11	6,33
Dy	ppm	38,9	11,1	8,46	19,25	18,2	10,95	22,5	13,9	29,1	18,3	36,8
Ho	ppm	7,82	1,95	1,56	3,69	3,16	2,08	3,9	3,19	5,55	3,63	6,6
Er	ppm	21,9	5,04	4,53	9,93	7,69	6,08	10,15	9,54	15,1	9,79	16,95
Tm	ppm	3,11	0,76	0,62	1,29	1,16	0,97	1,4	1,46	2,29	1,44	2,49
Yb	ppm	18	4,31	3,91	8,45	6,86	5,76	8,2	8,63	14,45	9,05	15
Lu	ppm	2,95	0,64	0,55	1,37	1,08	0,91	1,2	1,61	2,18	1,37	2,23
Hf	ppm	4,32	3,16	3,52	3,2	5,31	2,28	3,77	2,51	3,11	3,55	7,01
Ta	ppm	0,7	<0,1	0,7	0,4	1,5	0,7	1,1	0,3	0,4	1	1,1
W	ppm	3,5	1,4	0,9	2,2	2,1	5,7	1,3	0,5	2,7	1,4	2,5
Re	ppm	0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Hg	ppm	0,009	0,006	0,011	<0,005	0,008	0,008	0,013	0,014	0,018	0,017	0,008
Tl	ppm	0,03	0,09	0,02	0,03	0,05	0,02	0,09	0,03	0,03	<0,02	<0,02
Pb	ppm	2	5	<2	<2	6	<2	5	3	8	<2	<2
Bi	ppm	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Th	ppm	26,5	25	14,2	24,7	24,2	9,37	41,3	7,89	14,45	23,9	80,1
U	ppm	16,1	20,9	10,4	8,97	14,65	5,96	28,3	4,28	26,6	14,6	55,6



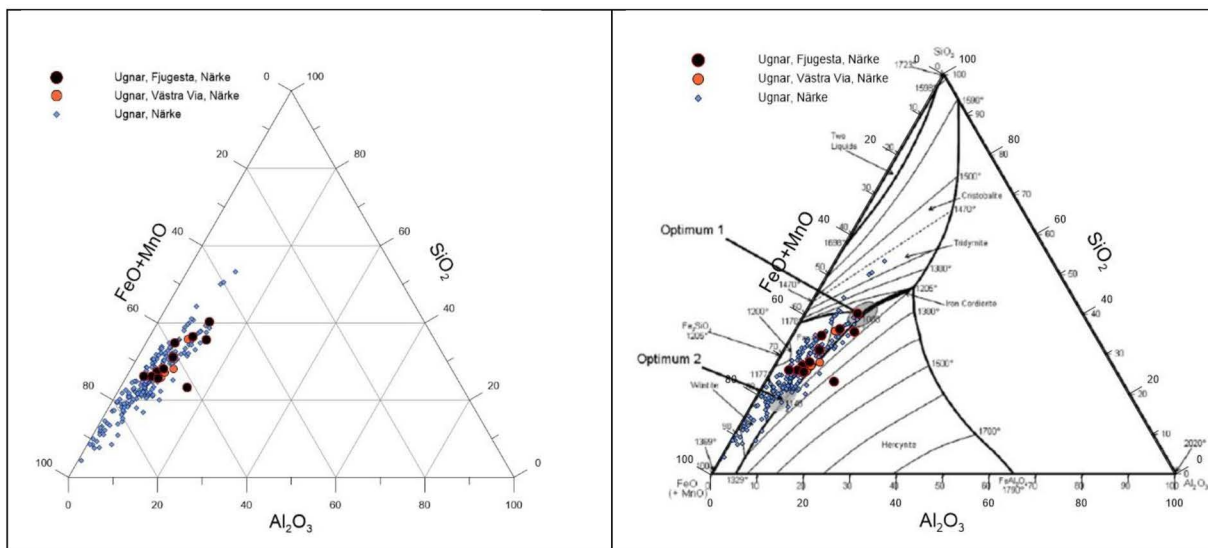
Figur 2:E1. Innehållet i vikt% av totalhalten av järn (som Fe_2O_3) och kisel (som SiO_2) i slagger från Fjugestas ugnar (A:nr) jämfört med drygt 100 tidigare analyserade blästslagger från både äldre och yngre järnålder i Närke (ser text för referenser). Slagger från Fjugesta som innehåller järnoxidmineralet wüstit (grön ring) har högre järn- och lägre kiselhalter än slagger utan (eller med lite wüstit).



Figur 2:E2. Innehållet i vikt% av totalhalten av kalium (som K_2O) och aluminium (som Al_2O_3) i slagger från Fjugestas ugnar (A:nr) jämfört med drygt 100 tidigare analyserade blästslagger från både äldre och yngre järnålder i Närke (ser text för referenser). Några av slaggerna från Fjugesta innehåller betydligt mer aluminium än i referensmaterialet (grön ring). Eventuell inblandning av lera från ugnsväggen (exempel visas i diagrammet) med högt innehåll av både aluminium och kalium förväntas ge högre halt av båda i slaggen, men i några slagger (blå ring) visar inte kalium motsvarande ökning varför det måste finnas ytterligare orsaker.



Figur 2E:3. Innehållet i vikt% av slaggernas huvudämnen (se övre delen i tabell 2:3) sorterade i fallande ordning från högre till lägre halt av Fe_2O_3 . Till vänster alla ämnen. Till höger i detalj (från rutan) utan de dominerande ämnena Fe_2O_3 och SiO_2 (samma sortering) där variationen bland slaggerna framträder tydligt. Bl.a. ses den höga aluminiumhalten i A1392A (grått), och att två slagger, A1335 A och A978A, har högre halter av mangan (grönt), men att dessa båda skiljer sig från varandra då A1335A också innehåller fosfor (ljusblått).



Figur 2E:4. Triangeldiagram som visar förhållandet mellan Al_2O_3 , SiO_2 och summan av FeO och MnO i slaggerna från ugnar i Närke (se tidigare figur) följer en trend längs triangelnns vänstra sida. Slaggerna från Fjugesta, men även de från Västra Via i Vintrosa är samlade i den övre högra delen av spridningen. Till höger ses samma diagram som överlägg på det diagram som visar två fördelaktiga intervall (Optimum 1 och 2) för slaggens sammansättning för att järn ska kunna reduceras fram ur malmen. Många av Fjugestas slagger ligger inom eller nära Optimum 1. Diagram från Charlton m.fl. 2010 (med referenser).

Flera av slaggerna från bläsplatsen i Fjugesta har högre aluminiumhalter än merparten av slaggerna från järnålderns svenska blästugnar, även de i Närke (fig. 2E:2). Flera av dem har också relativt låg järn- och hög kiselhalt (fig. 2E:1, 2E:3). Aluminium skulle kunna komma från inblandning av smält ugnsväggslera men detta förväntas också ge ett högre kaliuminnehåll, något som inte ses i dessa slagger (fig. 2E:2). Den högre aluminiumhalten speglas också i slaggernas mineralsammansättning (fig. 2C:13) där olivin (av typen fayalit; järn, kisel och syre) i flera slagger förekommer tillsammans

med hercynit (innehåller järn, aluminium och syre); vanligare är att olivin förekommer tillsammans med wüstit (innehåller järn och syre) som ses i ett fåtal av Fjugestas slagger. Förekomsten av dessa båda olika kombinationer och hur det påverkar processen har berörts i flera studier (Charlton m.fl. 2010 och referenser däri). Optimala förhållanden för att reducera fram metall kan fås inom dessa båda sammansättningsintervall (fig. 2E:4). Det är till stor del malmens sammansättning som avgör slaggens sammansättning och vilka mineral/faser som bildas men kan det kan också påverkas av hur mycket bränsle i förhållande till malm som används. En större andel bränsle i förhållande till malm ger mer reducerande förhållande och medför att en större andel av malmens järn blir metall. Det innebär en lägre andel järn (t.ex. mindre andel järnoxider) i slaggen och en högre andel av t.ex. kisel och aluminium. Samtidigt blir dock slaggerna mer trögflytande vilket kan sätta igen ugnarna och försämra processen som helhet. Lägre andel bränsle ger mindre reducerande förhållanden, en förväntat lägre kolhalt i metallen, men mer lättflutna (runna) slagger. Slaggerna från Fjugesta är generellt tämligen lättflutna, om än i små strängar, vilket också talar för denna process.

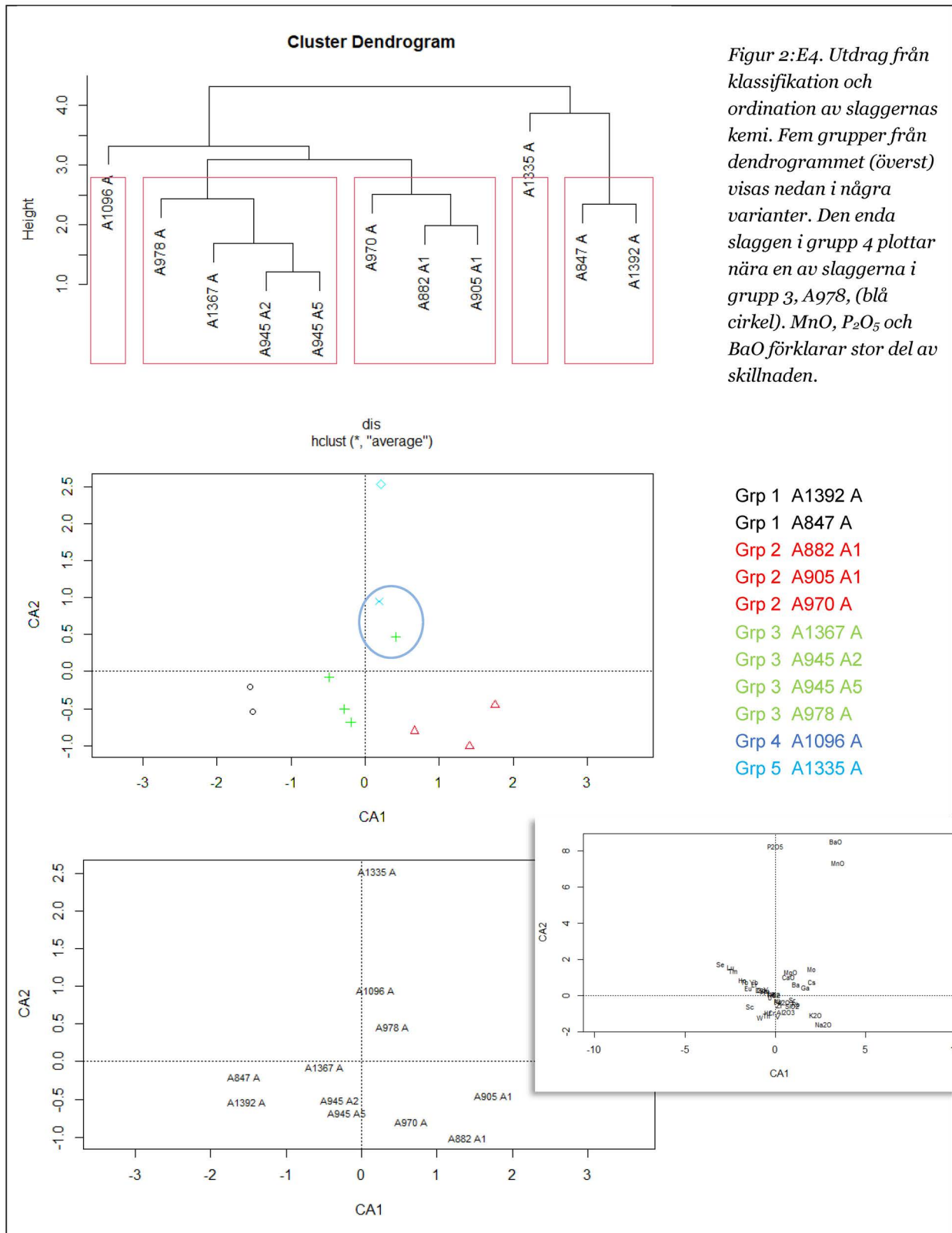
Huvudämnen och spårämnen i kombination

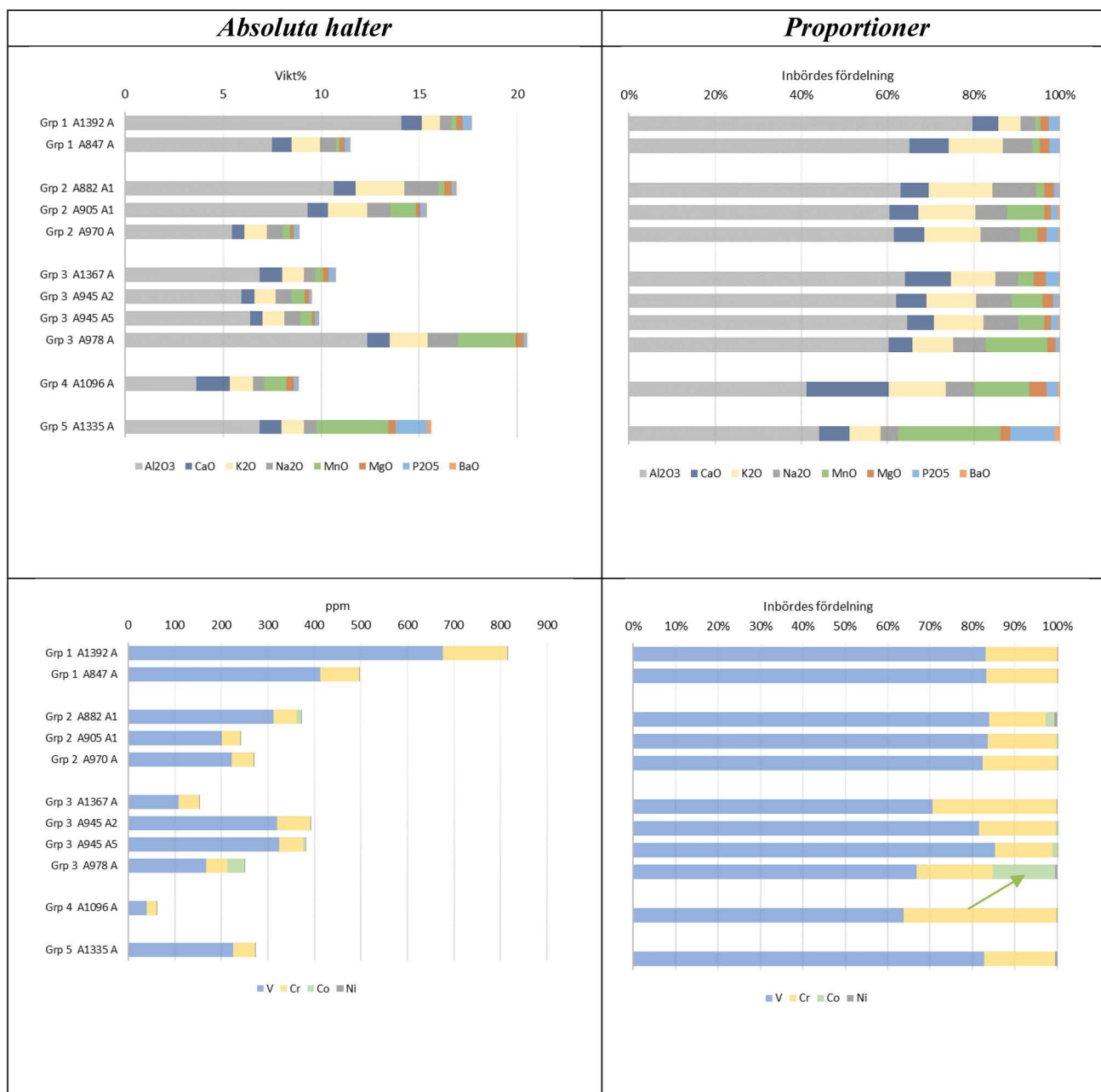
Hela datasetet med huvudämnen (förutom de dominerande järn och kisel) samt de flesta spårämnena genomgick också en multivariat statistisk utvärdering. Inledningsvis gjordes en klassifikation och PCA-analys för att hitta likheter som kan gruppera slagger, och vilka ämnen som är de som är mest särskiljande, samt en ordination av utfallet för att testa om grupperingen är relevant. Utfallet från klassifikationen i 5 grupper visas i en uppsättning av flera olika grafer som illustrerar grupperna, i vilken mån de är lika, samt vilka ämnen som är mest avgörande för indelningen i grupper (fig. 2E:5). De dominerande ämnena järn och kisel har inte ingått i utvärderingen eftersom de delvis skulle överskugga andra ämnen i analysen. I efterföljande diagram (fig. 2E:6) visas samma typ av stapeldiagram som i figur 2E:3, men nu sorterat efter dessa fem grupper. En uppsättning med huvudämnen och en med några viktiga spårämnen visas. De absoluta halterna kan variera (se mer ovan) men i vissa fall är det de relativa halterna av ämnena som är av betydelse.

I stora drag finns många likheter mellan slaggerna från Fjugesta (sett i relation till slagger från Närke som visas ovan), men det finns också en del variationer. De utökade figurtexterna (fig. 2E:5 och 2E:5) lyfter fram några intressanta detaljer. Slaggerna är få, endast elva stycken och fem grupper har definierats (fig. 2E:5), vilket kan tyckas vara alltför många. I grupp 1 återfinns 2 slagger (A847 och A1392) som inbördes är lika främst vad gäller spårämnena, men delvis skiljer sig vad gäller t.ex. aluminiumhalten (se ovan). Två av grupperna (grupp 2 och 3) med tre respektive fyra slagger vardera visar också inbördes en del likheter och skulle kunna utgöra en större grupp (med större variation i kaliumhalt).

Slutligen utgör två slagger (A1096 och A1335) varsin grupp (grupp 4 och 5). De avviker från de andra på många punkter bl.a. högre absoluta halter av några ämnen (t.ex. mangan i båda, och fosfor i A1335). Men om man också betraktar inbördes förhållandet mellan vissa ämnen, som mangan och barium (se nedan) och tar hänsyn till naturliga, geologiska variationer kan de visa mer samhörighet än vid en första anblick, och skulle därmed kunna spegla malmer från samma myr.

Även slaggen från A978, som visserligen sällar sig till tre andra slagger i grupp 3 i den klassificering som har gjorts, kan nämnas då den innehåller flera ämnen som saknas i de andra, t.ex. spårämnet kobolt (från malmen) som främst förväntas gå in i metallen men till viss del även till slaggen. Slagg A978A är också en av dem som har en ovanligt hög aluminiumhalt (se ovan). Oavsett om skillnaderna som har observerats beror på råvara och/eller process, är det väldigt få slagger som visar en enhetlig bild. Som förväntat är det de båda analyserade slaggerna från ugnen A945 som är mest överensstämmande vad gäller huvudämnen (andra än järn och kisel) och spårämnena, varför det är rimligt att de små skillnader som finns speglar variationen inom en och samma körning – med samma malm.





Figur 2E:5. I övre raden innehållet i vikt% av slaggernas huvudämnen (utan de dominerande ämnena Fe_2O_3 och SiO_2). Samma värden som i fig. 2E:3 men här sorterat efter grupperingen från den statistiska analysen. I nedre raden visas innehållet av några spårämnen (vanadin, krom, kobolt och nickel). Den vänstra kolumnen visar absoluta halter, den högra visar proportionerna mellan ämnena. I den högra kolumnen framträder likheterna inom respektive grupp tydligare. I figur 2E:4 noterades att A978A i grupp 3 avviker något från de övriga i grupp 3; här ses en skillnad bl.a. med högre halter av flera huvudämnen (överst t.v.) och förekomst av kobolt (grön pil) i slagg A978A. Här ses också de stora inbördes likheterna mellan de båda slaggerna från A945. Slagger i Grupp 2 och 3 uppvisar också likartade proportioner mellan flera ämnen (något högre K_2O i grupp 2).

Mangan och barium

Mangan är ett ämne som är vanligt i sjö- och myrmalmer vilka vanligen användes i järnframställning i blästugnar. Manganhalter på flera, eller till och med tiotals viktprocent kan förekomma (t.ex. Hjärthner-Holdar m.fl. 2018 och referenser däri). Det finns till och med motsvarande stora spännvidder i manganhalt bland slagger från järnframställning vid flera lokaler i Skävi i Viby socken, Närke. Ugnarna i Viby har också en kronologisk spridning från äldsta järnålder till vikingatid, men utan koppling mellan datering och manganhalt.

Variationerna i mangan skulle teoretiskt kunna finnas inom en och samma malmbildning. För att undersöka detta ytterligare jämförs också med bariuminnehållet. Barium är ett ämne som är korrelerat med mangan, och ju högre manganhalter desto högre barium ses också i allmänhet, främst i sjö- och myrmalmer och slagger från järnframställning med dessa råvaror. I överensstämmelse med det uppvisar de slagger som har de högsta MnO-halterna också de högsta Ba-halterna och i gruppen av slagger ökar Ba med ökad MnO. Men, alla slagger följer dock inte samma trend, dvs. de har olika proportioner mellan Ba och MnO.

Merparten av de analyserade slaggerna från Fjugesta har låg manganhalt (<1,3 % MnO); fem av dem t.o.m. lägre än 0,4 % MnO; vilket är lägre än de flesta andra som har analyserats från Närke A847 A, A882 A1, A970 A, A1367A och A1392A. Dessa fem varierar i bariumhalt från knappt 200 ppm till drygt 400 ppm (fig. 2:E6). De har endast få motsvarigheter bland slagger från Närke varför det är möjligt med en malmkälla (eller flera källor) som inte har identifierats i tidigare studier.

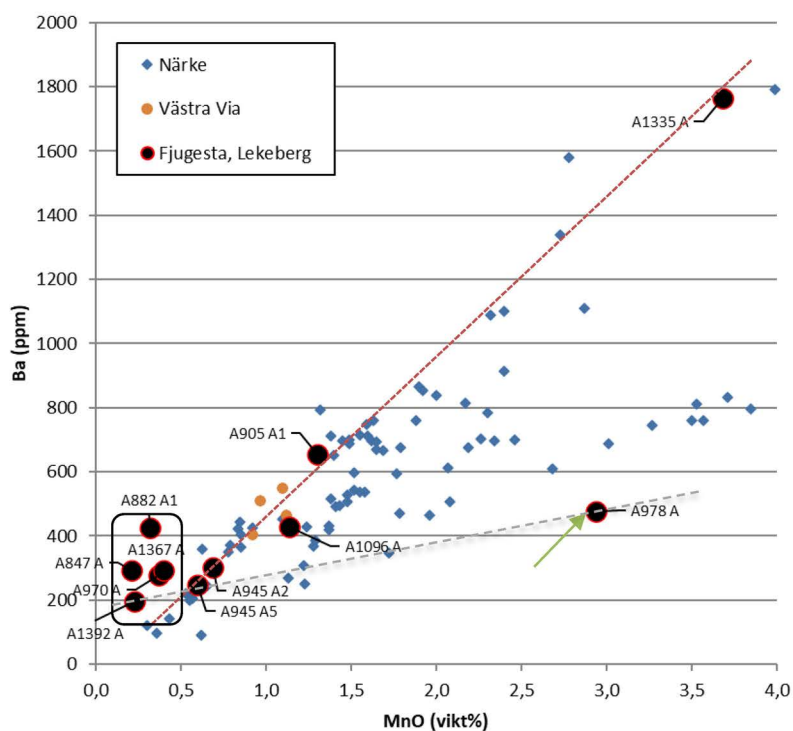
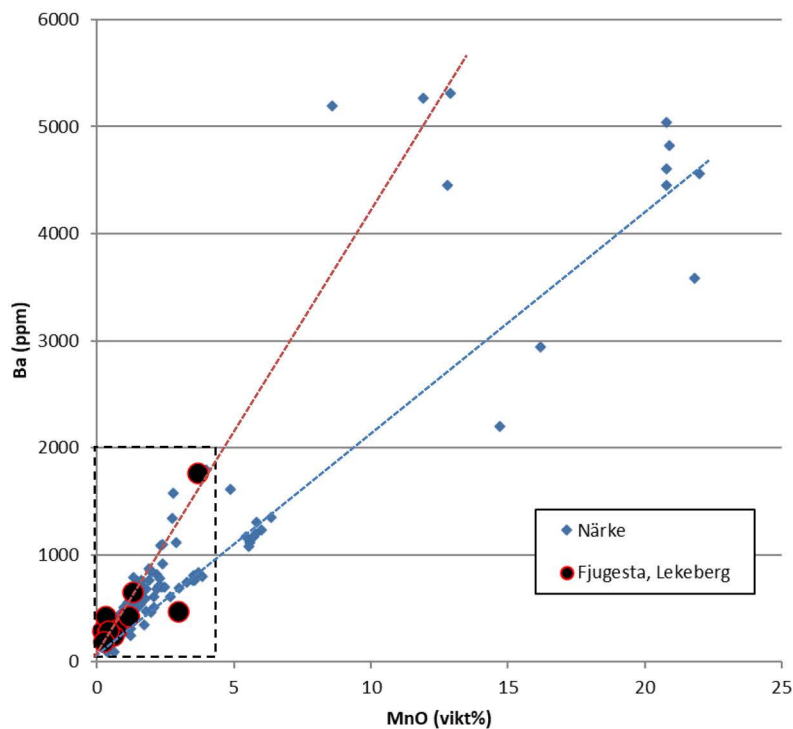
Fem slagger som uppvisar stor spridning i MnO, från 0,6 % i de båda slaggerna från A945 till 3,7 % i A1335A, har även en spridning i Ba (ca 250–1765 ppm) med likartade proportioner vilket antyder en samhörighet (se skissad röd linje i fig. 2:E6); här kan dock noteras att slaggen från A1335 har betydligt högre fosforhalt än de övriga varför den har ytterligare en annan källa. De fyra övriga i denna grupp (A945A2, A945A5, A1096A och A905A) uppvisar dessutom likartade proportioner som i flera slagger från den vendeltida järnframställningen i Västra Via, Vintrosa (Willim m.fl. 2006, Sundkvist 2010).

En slagg (A978A) utmärker sig (fig. 2:E6) med betydligt lägre bariumhalt (knappt 500 ppm) i förhållande till en för Fjugestas slagger jämförelsevis hög manganhalt (ca 3 %). Visserligen skulle man kunna tänka sig en koppling med några av de andra slaggerna med en betydligt flackare linje, men det avviker också från andra referensslagger. Dessutom utmärker sig slaggen A978A på många andra sätt (koboltinnehåll, som inte finns i de andra och en avvikande signatur av sällsynta jordartsmetaller), varför det är mindre troligt med en koppling till de andra slaggerna.

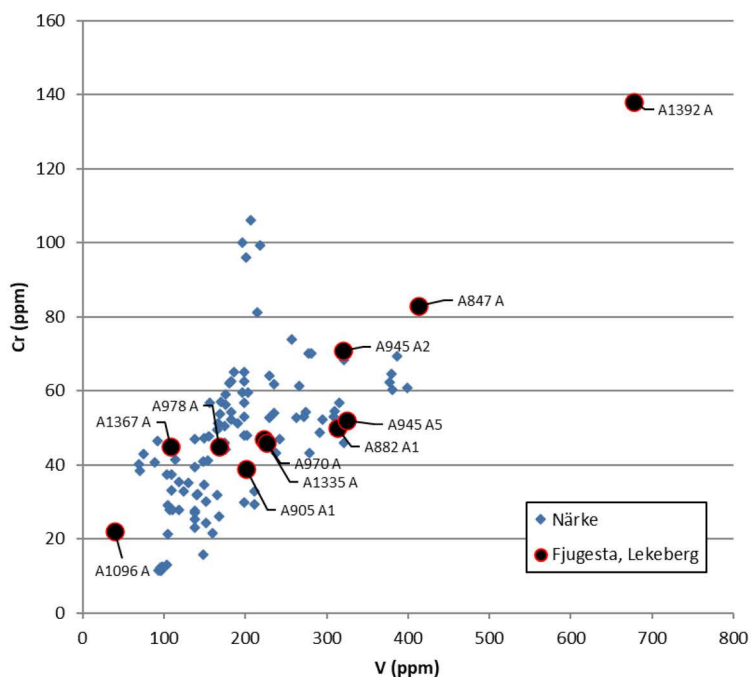
Enbart med utgångspunkt i dessa få ämnen finns det tecken som tyder på att det är flera, åtminstone tre, olika malmkällor som har använts på blästplatsen i Fjugesta. Deras innehåll av sällsynta jordartsmetaller (se nedan) uppvisar visserligen också en viss spridning, men mer begränsad varför det är möjligt att malmerna är bildade inom samma berggrundsgeologiska miljö, och att malmerna således härrör från ett begränsat geografiskt område.

Om vi grupperar slaggerna med utgångspunkt i Mn-Ba förhållandet får vi sammanfattningsvis därmed en delvis annan indelning än från den statistiska analysen:

- En grupp med fem slagger (A847 A, A882 A1, A970 A, A1367A och A1392A) med låga (konstanta) manganhalter
- En grupp med fyra (fem) slagger med likartad Mn-Ba- kvot men olika absoluta halter (A945A2, A945A5, A1096A och A905A) (ev. A1335A med avvikande fosforinnehåll)
- En avvikande slagg (A978A) med jämförelsevis låg Ba i förhållande till Mn



Figur 2E:6. Innehållet av mangan (som MnO) och barium (Ba i ppm) som visar halterna i slaggerna från Fjugesta. I det övre diagrammet jämfört med drygt 100 tidigare analyserade blästslagger från både äldre och yngre järnålder i Närke (se text för referenser). Slaggerna från Närke visar som helhet stor spridning där de båda ämnena samvarierar, men på olika sätt. Två linjer, en flackare (blå) och en brantare (röd) antyder en mindre resp. större ökning av Ba med ökad MnO. De flesta slaggerna från Fjugesta har jämförelsevis låga halter av båda ämnena. De framträder tydligare i det nedre diagrammet, från den streckade rutan i det övre diagrammet. Här ses en grupp (svart ruta) med likartad (och låg) MnO men varierad Ba, en annan grupp följer en allmän trend (röd linje) med samma kvot av MnO-Ba. En slagg (grön pil, A978A) utmärker sig med jämförelsevis hög MnO och låg Ba. Dessa skillnader tyder på olika malmer. Slagger från en vendeltida järnframställning vid en boplats i Västra Via, Vintrosa socken visas också då de följer samma trend som många av slaggerna från Fjugesta. Det ska också noteras (fig. 2E:5) att A1335A har en noterbar halt av fosfor (1,6%) jämfört med de övriga. En grå linje med flack lutning är skissad som alternativ teoretisk koppling mellan A978A och slagger med låga halter, men A978A avviker även i övrigt i kemisk sammansättning varför denna koppling är mindre trolig.



Figur 2E:7. Slaggernas innehåll av vanadin (V) och krom (Cr) slaggar från Fjugestas ugnar (A:nr) jämfört med drygt 100 tidigare analyserade blästslaggar från både äldre och yngre järnålder i Närke (ser text för referenser). De båda ämnena samvarierar, men inte med samma proportioner i hela materialet (jämför stapeldiagrammen ovan). Slaggen från A1392 utmärker sig med den högst noterade halten även i jämförelse med andra slaggar från Närke.

Spårämnen

Bland spårämnena finns några som kan vara intressanta att lyfta fram och som speglar innehåll i använda malmer (se även bilaga 2:A). Exempel på dessa ämnen är vanadin (V), krom (Cr), kobolt (Co) och nickel (Ni). Dessa förekommer i olika nivåer i olika malmer och kan spegla lokala variationer i malmer (geologiskt och geografiskt kopplade).

Både Ni och Co förekommer i mycket låga halter (eller i nivå med vad som kan detekteras med analysmetoden) för de flesta slaggen. Endast ett fåtal slaggar (A978 A och A882 A1) har mätbara, men låga, halter (max Co är 37 mg/kg och Ni 2 mg/kg).

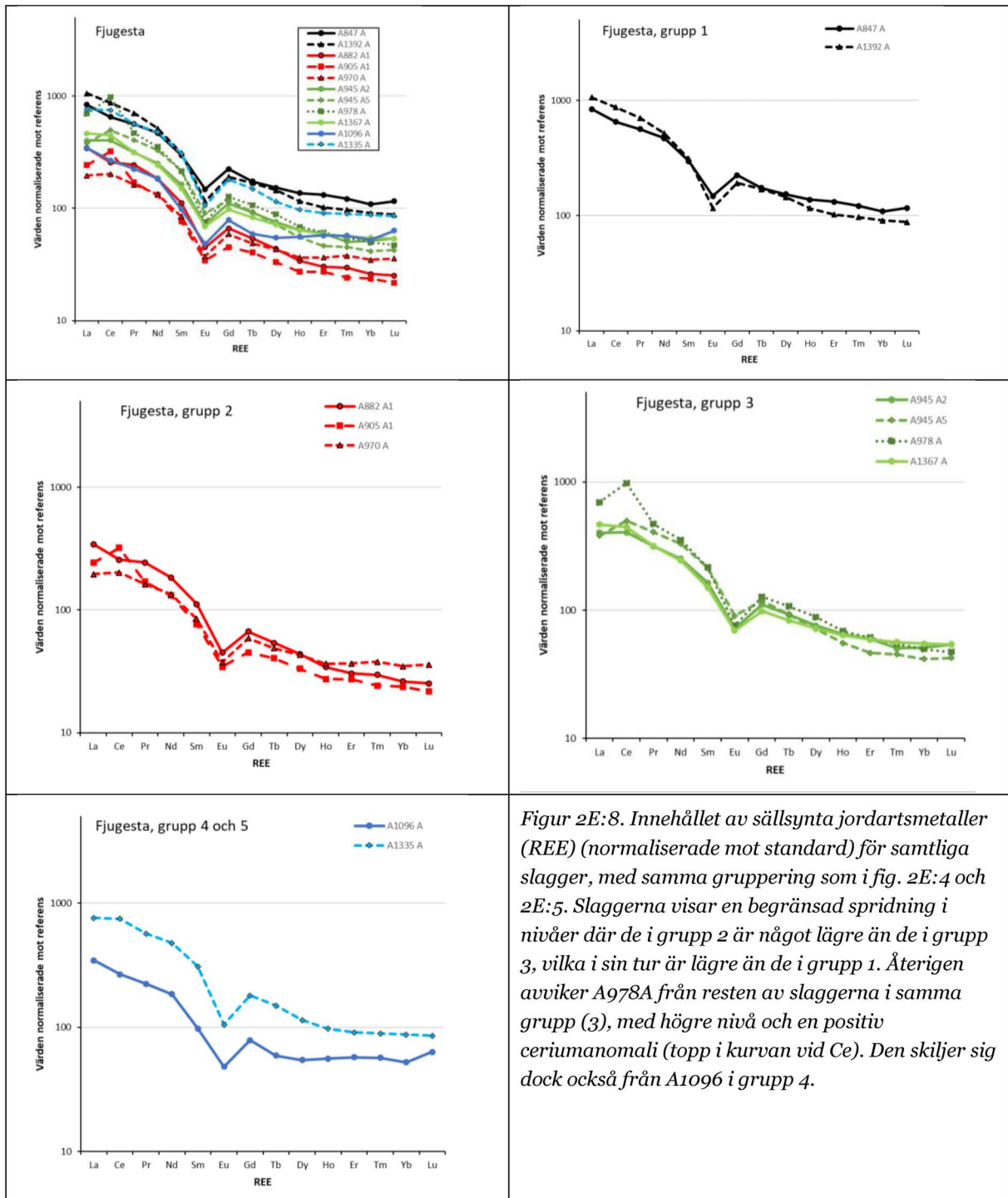
Såväl krom (Cr) som vanadin (V) förekommer dock i högre halter. Men, det förekommer en stor spridning i slaggen. Krom visar en fördelning från ca 40 till ca 80 mg/kg och vanadin uppvisar generellt en spridning från ca 100 till 400 mg/kg. En slagg (A1096A) har lägre halter (22 respektive 39 mg/kg). Samtliga dessa ligger inom den variation som tidigare har noterats för slaggar från Närke (fig. 2E:7) men en slagg (A1392 A) avviker med betydligt högre halter än de övriga (138 respektive 677 mg/kg) från såväl Fjugestas järnframställningsplats som tidigare analyserade slaggar från Närke som helhet. Denna slagg hör till gruppen av slaggar med de lägsta manganhalten, och är dessutom den slagg (A1392 A) som har den högsta aluminiumhalten.

Sällsynta jordartsmetaller – Rare Earth Elements

Andra spårämnen som är betydelsefulla för att särskilja slaggar av olika typ, och som dessutom speglar den använda malmens sammansättning är sällsynta jordartsmetaller (*Rare Earth Elements* (REE) från lantan (La) till lutetium (Lu)) (t.ex. Devos m.fl. 2000, Dillmann m.fl. 2017). De proportioner som finns mellan dessa i den geologiska miljön där malmen bildas, ärvs sedan i slaggen som bildas i järnframställningen. REE förväntas anrikas i slaggen jämfört med i malmen vilket innebär att vi kan förvänta oss högre halter (men samma ”mönster”) i slaggen jämfört med i malmen.

De sällsynta jordartsmetallerna visar endast marginell variation och antyder att det är malmer med likartad geologisk miljö som har använts – inga referensmalmer i närområdet har dock provtagits inom ramen för denna undersökning. Resultaten presenteras i fig.2E:8 för hela data-setet som visar hela spridningen, samt för de fem grupper som definierades från klassificeringen. De olika grupperna skiljer sig åt något där grupp 2 och 3 har olika nivåer av REE vilket skulle kunna återspegla små

skillnader i utvinning med bättre utvinning i slaggerna i grupp 3 jämfört med i grupp 2, under förutsättning att det är samma malm som har använts (ju mer metall som tas ut från malmen desto högre blir andelen i slaggen), men det är inte klarlagt i detta fall. Vad som är tydligt är att de båda slaggerna i grupp 1 är likartade även med avseende på REE, med höga nivåer jämfört med de flesta övriga. Återigen utmärker sig också slaggen A978A med en signatur som skiljer den från de andra slaggerna, och understryker att den sannolikt kommer från en ugn som körts på annan malm än vad som har noterats från andra ugnar på platsen – alla är dock inte analyserade, varför den inte nödvändigtvis är unik. Förhållandet mellan mangan och barium som diskuterades ovan antyder att flera, åtminstone tre, olika malmkällor kan ha använts. Men, med tanke på en mindre variation i REE är det möjligt att dessa malmer är bildade inom samma berggrundsgeologiska miljö, och att de således härrör från ett begränsat geografiskt område.



Figur 2E:8. Innehållet av sällsynta jordartsmetaller (REE) (normaliserade mot standard) för samtliga slaggar, med samma gruppering som i fig. 2E:4 och 2E:5. Slaggerna visar en begränsad spridning i nivåer där de i grupp 2 är något lägre än de i grupp 3, vilka i sin tur är lägre än de i grupp 1. Återigen avviker A978A från resten av slaggerna i samma grupp (3), med högre nivå och en positiv ceriumanomali (topp i kurvan vid Ce). Den skiljer sig dock också från A1096 i grupp 4.

Bilaga 2F. Makroskopisk bedömning av stråavtryck i slagg (J. Heimdahl)

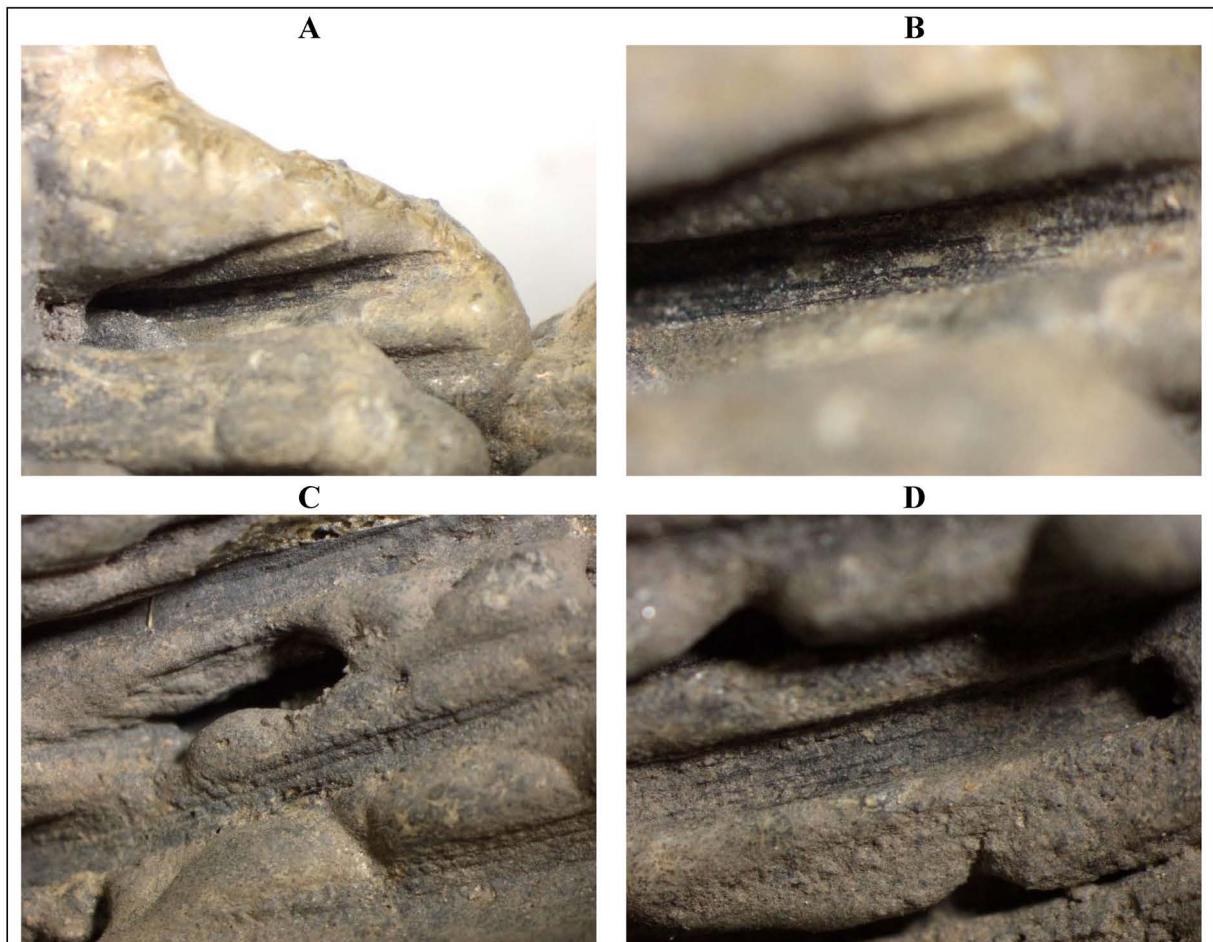
Jens Heimdahl, Arkeologerna

En av slaggerna från A945 med tydliga parallella långsmala avtryck har lämnats till Jens Heimdahl för makroskopisk granskning.

Analysresultat

Analys under stereolupp (Fig. 2F:1) visar att flera av avtrycken innehåller ett förkolnat skikt från de strån som fångats i slaggen. Själva växtmaterialet är alltså delvis kvar.

Stråna är av olika slag. De flesta har en diameter på omkring 1 mm. Ytan är i samtliga fall rundad och ytan strierad. Samtliga strån är raka och inga spår efter noder eller bladårr har påträffats. Generellt påminner stråna om strån från mindre gräsarter, men frånvaron av noder gör att det snarare kan vara fråga om något halvgräs, till exempel småsäv eller skogssäv, men även en stor grupp örter är tänkbara. Strånas inbördes olikhet gör att det är troligt att det rör sig om flera arter. Som material betraktat påminner detta om hö. Det är möjligt smältan runnit ut över en höbädd.



Figur 2F:1. Foton tagna under stereoluppen med detaljer på några strån och avtryck, i C och D med tydlig striering. Foto: Jens Heimdahl.

Arkeologgruppen AB

RAPPORT 2024:19

