

Två medeltida blästplatser och en liggmila från 1500-talet

Arkeologiska undersökningar

Fornlämningar L1945:5135, L1945:9225 och L2022:10033,
Älvros socken, Härjedalens kommun, Jämtlands län

Kristina Jonsson



RAPPORT – JAMTLI 2024:12
ISSN 1654-2045

Utgivning och distribution:

Jamtli

Box 709

831 28 Östersund

Tel. 063 - 15 01 00

© Jamtli 2024

Redigering och layout av framsida: Lena Ljungkvist

Omslagsbilder: Blästerugnama på L2022:10033 (t.v.) och L1945:9225 (t.h.). Foto: Anders Hansson.

Jamtli medger spridning av dokumentationsmaterialet med Creative Commons-licensen CC BY, undantaget Lantmäteriets kartor samt annat upphovsrättsskyddat material.

Länsstyrelsens diarienummer: 431-9045-2022, 431-4424-2023

ISSN 1654-2045

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Bakgrund.....	3
Undersökningens bakgrund	3
Kulturmiljöbeskrivning	4
Tidigare arkeologiska undersökningar i Älvrostrakten	5
De arkeologiska undersökningarna 2023.....	7
Syfte och frågeställningar.....	7
Metod.....	7
Kolningsanläggningen.....	7
Blästplatserna	7
Förundersökning av kolbotten efter liggmila L1945:5135	8
Undersökningar av blästplats L1945:9225	11
Blästerugnen.....	11
Slaggvarpet.....	15
Fällsten och fällslag	16
Malmupplag.....	16
Undersökningar av blästplats L2022:10033	17
Blästerugnen.....	17
Slaggvarpet.....	20
Fällsten och fällslag	21
Malmupplag.....	22
Tolkning och diskussion.....	22
Liggmilen.....	22
Blästplatserna.....	23
Datering och regionala jämförelser.....	23
Ugnarnas konstruktion och drift.....	24
Järnproduktionen: analyser och beräkningar	26
Avslutande kommentarer	28
Referenser	28
Administrativa uppgifter.....	30
Bilagor	31
Bilaga 1. Kontexttabeller	
Bilaga 2. Vedartsanalyser	
Bilaga 3. ¹⁴ C-analyser	
Bilaga 4. Arkeometallurgiska analyser	

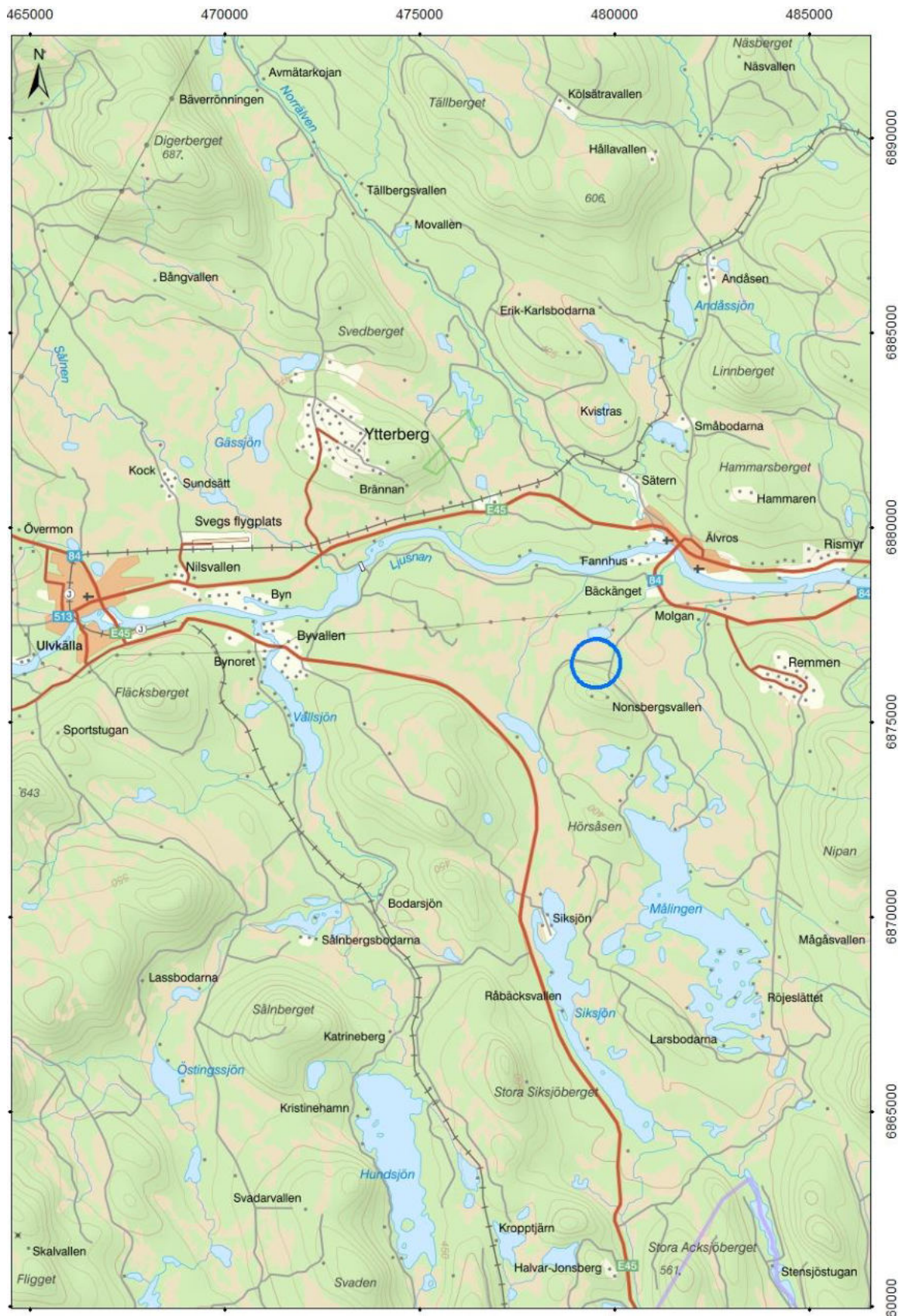
Sammanfattning

Under våren och sommaren 2023 genomförde Stiftelsen Jamtli arkeologiska undersökningar av tre fornlämningar i Älvros socken, Härjedalens kommun i Jämtlands län. Undersökningarna utfördes på uppdrag av Trafikverket med anledning av vägbyggnation (Förbifart Sveg), efter beslut av länsstyrelsen i Jämtlands län. Fornlämningarna utgjordes av en kolningsanläggning (liggmila L1945:5135) samt två blästplatser (L1945:9225, L2022:10033). Kolbotten blev endast förundersökt, varefter det i samråd med länsstyrelsen beslutades att ingen vidare undersökning var nödvändig för att besvara frågeställningarna.

Liggmila L1945:5135 var rektangulär med en storlek av 10×5,5 m stor inklusive omgivande vallar, och omgiven av en 0,3–0,5 m bred ränna. Vallarna torde utgöra rester av den stybb som har täckt hela milan före raseringen, uppgrävd från den utanförliggande rännan. Efter maskinavbaning av hela lämningen samt kringområdet grävdes två schakt genom vallarna in genom konstruktionens botten. Kol från trärester och från milans botten har givit en ¹⁴C-datering av milan till 1500-tal.

De två blästplatserna var mycket snarlika och innehöll en blästerugn, ett slaggvarp, en fällsten (en sten på vilken man har lagt järnluppen för vidare bearbetning) med kringliggande slagg samt ett lager rostad malm (botten av malmupplag). Ugnarna var av typen låg schaktugn, delvis ingrävda i en svag naturlig sluttning. Inledningsvis hade en rektangulär nedgrävning gjorts, och en ram av trä byggts mot insidan av tre av dess sidor. I nedgrävningen har ugnsschaktet därefter konstruerats. Det bestod i den nedre delen av fyra flata stående stenhällar, en av dem lägre än de övriga, som bildade ett fyrkantigt utrymme (ugnsens botten där slaggen har samlats). Över och kring dessa hällar låg rundade naturstenar i flera skikt, utgörande ugnsschaktets övre del vars insidor var tätade med lera. Kring ugnen, i den rektangulära träskodda nedgrävningen, fanns en sandpackning som både har hållit konstruktionen på plats och fungerat som värmemagasin. Lufttillförseln till ugnarna har gjorts med hjälp av en bälg som har varit placerad framför ugnens lägsta punkt, på den sida där träram saknades och den lägre hällen i bottenkonstruktionen var placerad. Bälgens blästerrör/forma har förts in i ugnen över den lägre hällen; utrymmet över hällen har varit täckt av en blästersköld av lera som kunde plockas bort när järnluppen skulle tas ut. Ugnarna förefaller ha eldats med ved.

Användningstiden för blästplats L1945:9225 har genom ¹⁴C-analyser av material från träramen, ugnens botten och slaggvarpet (topp och botten) daterats till en period mellan sent 1200-tal/tidigt 1300-tal och mitten av 1400-talet/tidigt 1500-tal. Blästplats L2022:10033 har med material från motsvarande kontexter daterats till en period från mitten av 1300-talet till mitten av 1400-talet/tidigt 1500-tal. Att beräkna mängden producerat järn utifrån mängden slagg på platserna är vanskligt då metoden har många möjliga felkällor, men ett beräkningsförsök har landat i att 2,8–4 ton järn har framställts på L1945:9225 och 1–2,2 ton på L2022:10033.



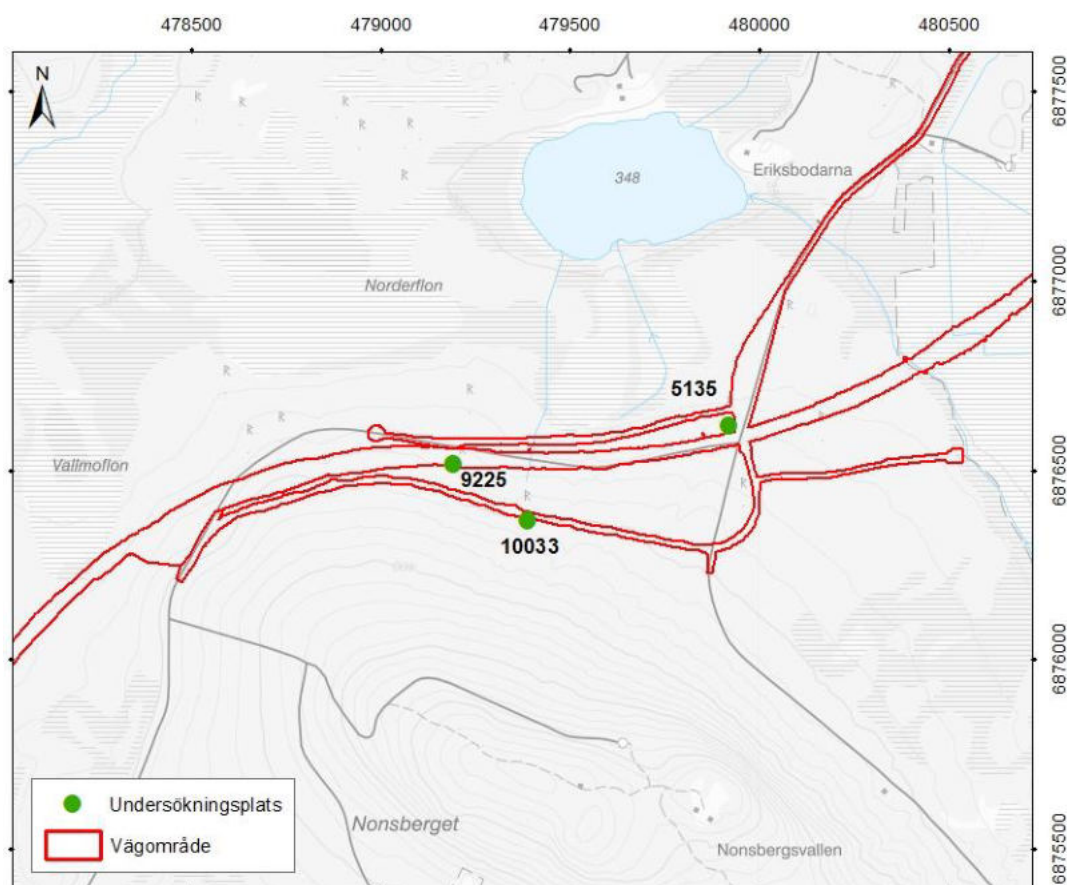
Figur 1. Översikt över undersökningsplatsernas läge, markerat en blå ring. Underlagskarta från Lantmäteriet (Topografiska webbkartan). Skala 1:150 000.

Bakgrund

Undersökningens bakgrund

Med anledning av att Trafikverket ska bygga en ny sträcka för väg E45 mellan Älvros kyrkby och Rengsjön (Förbifart Sveg) i Älvros socken, Härjedalens kommun (figur 1 och 2), har Stiftelsen Jämtli utfört arkeologiska förundersökningar av tre fornlämningar samt vidare undersökning av två av dessa. Undersökningarna genomfördes efter beslut av länsstyrelsen i Jämtlands län, och bekostades av Trafikverket. De berörda lämningarna utgörs av en kolningsanläggning (liggmila L1945:5135) samt två blästplatser (L1945:9225, L2022:10033). Den sistnämnda var vid undersökningstillfället registrerad som blästbrukslämning då endast slaggvarpet hade konstaterats i samband med registrering.

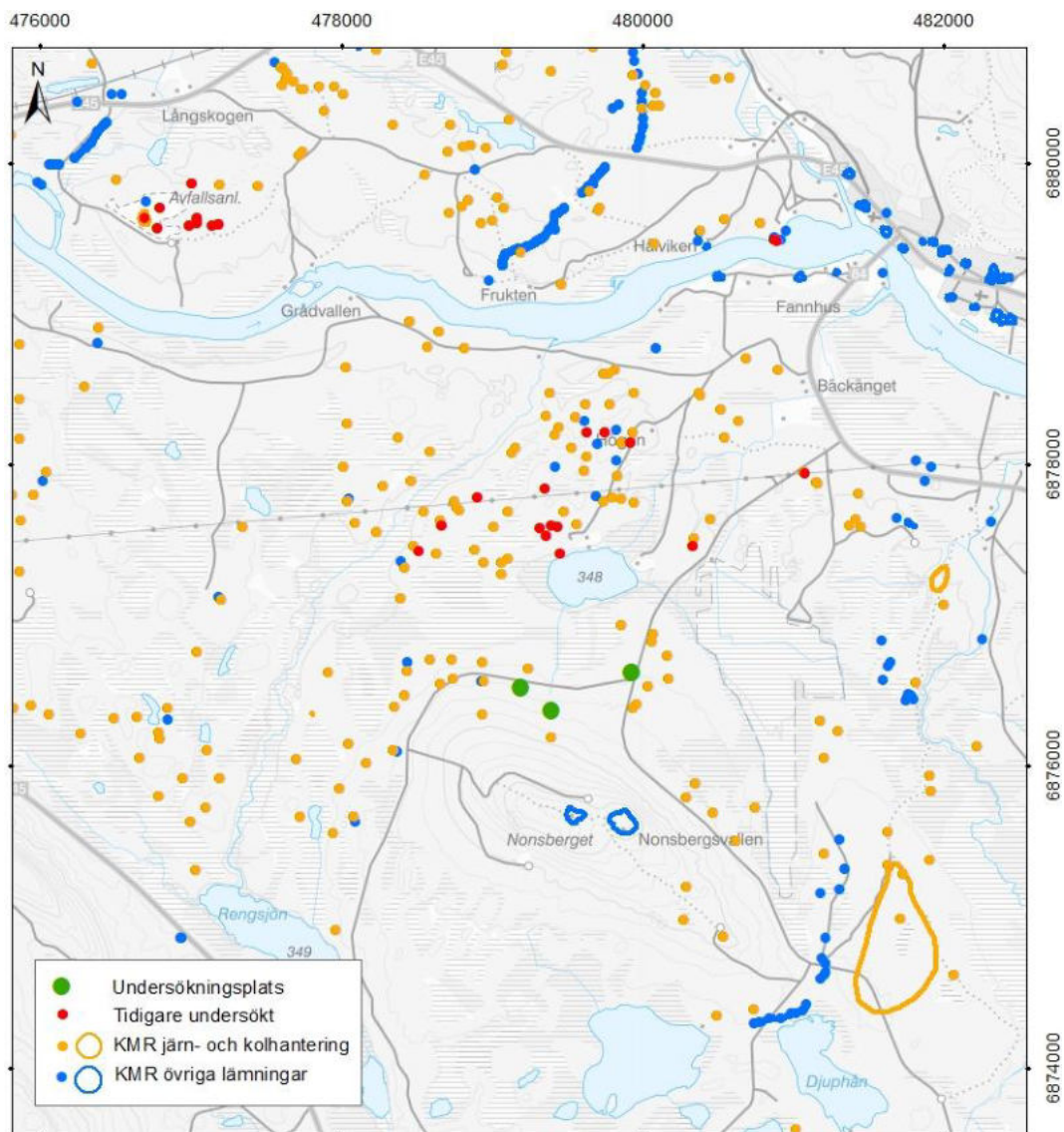
Förundersökningarna av de tre fornlämningarna utfördes i juni månad 2023. Efter dessa beslutades det i samråd med länsstyrelsen att ingen vidare undersökning av liggmilen var nödvändig för att tolka och datera fornlämningen. Blästplatserna blev föremål för fullständiga arkeologiska undersökningar i augusti 2023. Projektledare för samtliga undersökningar har varit antikvarie/arkeolog Kristina Jonsson, som även har sammanställt denna rapport. Rapporten omfattar både förundersökningarna (Lst dnr 431-9045-2022) och de avslutande undersökningarna (Lst dnr 431-4424-2023).



Figur 2. Undersökningsplatsernas lägen i förhållande till det planerade vägområdet. Lämningsnummer anges endast med de sista siffrorna. Underlagskarta från Lantmäteriet (Topografiska webbkartan). Skala 1:20 000.

Kulturmiljöbeskrivning

Det aktuella området mellan Älvros kyrkby och Rengsjön består i huvudsak av skogs- och myrmark. Vid och i närheten av Ljusnan finns dock byar med medeltida anor (Älvros kyrkby och Fannhus). Ett stort antal fornlämningar och övriga kulturhistoriska lämningar finns registrerade i området. Av de som ligger i anslutning till den planerade nya vägsträckan har drygt hälften tillkommit i Kulturmiljöregistret i samband med en av Jamtli utförd arkeologisk utredning inför vägbygget (Engman & Olofsson 2018). I kartutsnittet i figur 3 ses 407 lämningar av vilka hälften (204) utgörs av kolningsanläggningar samt två områden med skogsbrukslämningar, 103 av fångstgropar/fångstgropssystem och 34 av blästplatser/blästbrukslämningar. By-/gårdstomter är 25 till antalet. Övriga lämningstyper är husgrund historisk tid (kolarkojor m.m., 14 st), kemisk industri (tjärdalar och tjärrännor, 9 st), brott/täkt (5 st), vägmärke (3 st), kvarn (2 st), fyndplats (2 st), fåbod (2 st), och en vardera av typerna boplatz, stensättning, fornlämningsliknande lämning och ”övrig” (en skjutbana) (uppgifter från Forsök).



Figur 3. Registrerade lämningar i närområdet. Underlagskarta från Lantmäteriet (Topografiska webbkartan). Skala 1:15 000.

Blästplatserna ligger i huvudsak i det centrala området i kartutsnittet i figur 3, men även norr om Ljusnan. Kolningsanläggningarna är spridda över hela området, medan fångstgroparna ligger i stråk längs kartutsnittets östra kant och norr om älven. By-/gårdstomterna ligger som ovan nämnts vid älven, i Älvros kyrkby och Fannhus.

Tidigare arkeologiska undersökningar i Älvrostrakten

Inom hela Älvros socken har 50 lämningar varit föremål för någon form av arkeologisk undersökning, av vilka 31 inklusive de tre som redovisas i denna rapport kan ses i figur 3. De 28 tidigare genomförda undersökningarna i närområdet berör 12 blästplatser (för lämningsnummer, se tabell 1 nedan), en fyndplats för slagg (L1945:740), fyra kolbottnar (L1945:113, L1945:666 eller 739 samt två oregistrerade), en tjärdal (L1945:281), en stensättning (L1945:479) och en stenåldersboplats (L1945:1534). De åtta övriga undersökta objekten är registrerade som kolningsgropar i KMR, dessa tolkades dock vara gropar efter stubbtäkt vid den arkeologiska undersökningen och utgjorde alltså inte forn lämningar (Pagoldh 1990:2). Två undersökta kolbottnar saknas i KMR men beskrivs i undersökningsrapporten (Älvros 78:4–5 i Pagoldh 1990:15f).

Blästplatserna, slaggfyndplatsen, kolbottnarna och tjärdalen har undersökts i två sammanhang. 10 av blästplatserna, slaggfyndplatsen och två kolbottnar har undersökts i samband med Gert Magnussons forskning inför hans doktorsavhandling (1986) om lågteknisk järnhantering i Jämtlands län. Dessa undersökningar är de som ses i den centrala delen i figur 3. De övriga två blästplatserna samt blästbrukslämningen, två kolbottnar, tjärdalen och de felaktigt registrerade förmodade kolningsgroparna undersöktes 1989 vid Långskogen mellan Älvros kyrkby och Sveg av Jämtlands läns museum (Pagoldh 1990), och ses i det nordvästra hörnet i figur 3. Boplatsen och stensättningen ligger i den nordöstra delen vid Ljusnan i kartutsnittet i figur 3.

Tabell 1. Tidigare undersökta lämningar i närområdet relaterade till järnframställning och kolning.

Lämningsnr	RAÄ-nr	Lämnings typ	Datering (kal. 2020)	Referens	Kommentar
L1945:20	Älvros 123:1	Blästplats	1396–1640	Magnusson 1986	
L1945:113	Älvros 103:1	Kolbotten, liggmila	1459–1696	Magnusson 1986	
L1945:144	Älvros 107:1	Blästplats	-	Magnusson 1986	
L1945:173	Älvros 102:1	Blästplats	1381–1526	Magnusson 1986	
L1945:4866	Älvros 426	Blästplats	-	Magnusson 1986	Benämnd Älvros 109:1 i Magnusson 1986
L1945:4870	Älvros 388	Blästplats	1299–1655	Magnusson 1986	Benämnd Älvros 114:1 i Magnusson 1986
L1945:4955	Älvros 401	Blästplats	-	Magnusson 1986	Benämnd Älvros 113:1 i Magnusson 1986
L1945:5017	Älvros 398	Blästplats	1387–1683	Magnusson 1986	Benämnd Älvros 112:1 i Magnusson 1986
L1945:655	Älvros 124:1	Blästplats	1642–1661	Magnusson 1986	
L1945:666/ L1945:739	Älvros 104:2/ Älvros 104:1	Kolbotten, liggmila	1423–1646	Magnusson 1986	Oklart vilken av de två som har daterats
L1945:680	Älvros 108:1	Blästplats	1295–1500	Magnusson 1986	
L1945:684	Älvros 75:1	Blästplats	1152–1284, 1386–1467, 1422–1529	Pagoldh 1990	
L1945:733	Älvros 101:1	Blästplats	1163–1638	Magnusson 1986	
L1945:740	Älvros 105:1	Fyndplats, slagg	1295–1515	Magnusson 1986	
L1945:863	Älvros 78:1	Blästplats	1157–1316, 1470–1680	Pagoldh 1990	

Lämningsnr	RAÄ-nr	Lämningsstyp	Datering (kal. 2020)	Referens	Kommentar
-	-	Kolbotten, liggmila	1405–1529	Pagoldh 1990	Benämnd Älvros 78:4 i Pagoldh 1990
-	-	Kolbotten, liggmila	1388–1494	Pagoldh 1990	Benämnd Älvros 78:5 i Pagoldh 1990

Magnussons undersökningar, eller snarare provtagningar, syftade framför allt till att samla in material för datering av blästplatser och kolbottnar. Dateringarna redovisas och diskuteras i avhandlingen, men inga undersökningsrapporter har framställts. De daterade blästplatserna ligger i intervallet 1200- till 1500-tal med en tyngdpunkt i de senare århundradena, medan kolbottnarna har daterats till 1459–1696 resp. 1423–1646 (omkalibrerade i OcCal Online 2020). Magnusson har med utgångspunkt i detta daterat järnhanteringen i Härjedalen till den senmedeltida perioden (Magnusson 1986:176, 224f, 391ff).

Undersökningarna 1990 i Långskogen berörde två blästplatser (L1945:684, L1945:863), en tjärdal (L1945:281, felaktigt registrerad i KMR som blästbrukslämning), och två kolbottnar efter liggmilor (utan nummer). L1945:684 bestod av en kallmurad blästerugn som var 2,1 meter i diameter och helt nedgrävd i en sluttning. Ugnsschaktet var uppbyggt av kantställda något utåtlutande hällar som hade tätats med sandblandad lera. Mynningen var i jämnhöjd med ytan med en inre vidd av ca 1 meter, schaktet smalnade därefter av nedåt till att bli 0,6 meter i botten. Framför öppningen fanns en 0,8 meter bred stenpackning, och slänten hade grävts ur framför den vilket bildade en 2×1,5 meter stor gång med träskoning längs den ena sidan. På den andra sidan låg ett 7,3×7,8 meter stort slaggvarp med en höjd på upp till 0,95 meter. I övrigt fanns även ett malmupplag i anslutning till ugn och varp, ett slaggdumpningsområde och en fällsten med kringliggande slaggrester. Tre ¹⁴C-dateringar gjordes på kol från ugnsschaktets understa lager, från botten av den centrala delen av slagggvarpet och från en planka som låg under ugnskonstruktionen (Pagoldh 1990:3ff). Plankan daterades till 1152–1284, kolet från ugnen till 1386–1467 och kolet från slagggvarpet till 1422–1529 (Beta Analytic 1990, dateringarna omkalibrerade i OcCal Online år 2020).

Blästerugnen inom L1945:863 var anlagd på planmark, med kanthällarna nedstuckna ca 0,2 meter i marken. Den hade en diameter på 2,3 meter och var 0,9 meter hög. Schaktet var omkring en meter upptill och 0,4 meter i basen. Runt ugnen fanns en stöttande sandvall omgärdad av en träram, och framför öppningen fanns en 0,75 meter bred och 0,5 meter djup grop. Slaggvarpet var ca 6 meter i diameter och 0,8 meter högt. Fragment av en i modern tid skadad fällsten låg på slagggvarpet. Även på denna plats fanns ett malmupplag i anslutning till ugn och slagggvarp. Tre fynd gjordes vid grävningen: en böjd järnten, en U-formad järnten och en spik. Två ¹⁴C-dateringar gjordes på kol från ugnsschaktets mellersta lager samt från botten av den centrala delen av slagggvarpet (Pagoldh 1990:11ff). Kolet från ugnen daterades till 1470–1680 och kolet från slagggvarpet till 1157–1316 (Beta Analytic 1990, dateringarna omkalibrerade i OcCal Online år 2020).

Den ena oregistrerade liggmilen, benämnd Älvros 78:4 i rapporten, var 5,5×5 meter stor och 0,4 meter hög. Den beskrivs inte ytterligare i rapporten. Den andra, Älvros 78:5 i rapporten, var 8,4×3,75 meter stor, 0,3 meter hög och omgiven av ett igenfyllt dike. Utanför dess ena kortsida, och delvis längs den andra kolbottens kortsida, fanns en 0,5 meter hög halvcirkelformad vall, en stybbtäktsgrop fanns mellan vällen och milan (Pagoldh 1990:15f). Älvros 78:4 har ¹⁴C-daterats till 1405–1529 och Älvros 78:5 till 1388–1494 (Beta Analytic 1990, dateringarna omkalibrerade i OcCal Online år 2020).

De ovan nämnda omkalibreringarna av ¹⁴C-dateringarna har gjorts i samband med Jamtlis forskningsprojekt *Medeltida järnhantering i Härjedalen*. Projektet, som avrapporterades 2023 (Jonsson & Olofsson 2023), behandlade i huvudsak järnframställning och kolning inom ett

område i sydöstra Härjedalen där delar av Älvros socken ingick. Det syftade till att fördjupa kunskapen om hur gamla järnframställningsplatserna i området är, och till att i förlängningen studera vilken betydelse järnet har haft för bebyggelseetablering och försörjning från medeltiden och framåt. I de fall omkalibrerade ¹⁴C-värden anges i texten i denna rapport har de tagits fram inom detta projekt år 2020.

De arkeologiska undersökningarna 2023

Syfte och frågeställningar

Syftet med de arkeologiska förundersökningarna var att fastställa och dokumentera fornlämningarnas karaktär, datering, utbredning och komplexitet samt att ta tillvara eventuella fornyfynd. Resultaten skulle kunna användas av undersökaren för att bedöma och beräkna omfattningen av en arkeologisk undersökning, och även utgöra underlag för länsstyrelsens beslutsunderlag inför prövning om tillstånd till ingrepp i fornlämning samt företagarens planering.

Syftet med de påföljande arkeologiska undersökningarna var att dokumentera fornlämningarna, ta tillvara fornyfynd, rapportera och förmedla resultaten för att skapa kunskap med relevans för myndigheter, forskning och allmänhet.

De övergripande frågeställningarna kan härledas till undersökningarnas syfte: Hur har de aktuella anläggningarna konstruerats och använts? Vid vilken tid och hur länge har de varit i bruk? Mer specifika frågeställningar har formulerats för blästplatserna inför de arkeometallurgiska analyserna: Hur har blästugnarna fungerat i drift (t.ex. ugnstyp, bränsletyp), förekommer skillnader i processteknik, utvinningsgrad eller malmanvändning, vilken typ av järn har tillverkats och vilken kvalitet hade det?

Metod

Kolningsanläggningen

Vid förundersökningen avbanades hela anläggningen samt kringliggande ytor med hjälp av grävmaskin. Kringytorna utanför schaktet avsöktes med metalldetektor. Kolbottens ingående komponenter samt relaterade lager mättes in med RTK-GPS och fotograferades. Därefter maskingrävdes två schakt genom anläggningens västra och östra partier, ned till orörd mark. Schakten handrensades och dokumenterades genom digital inmätning och fotografering. Material (kol) för ¹⁴C-datering insamlades från stockrester i dessa schakt. Kolbottens profil i båda riktningar (längd och bredd) dokumenterades genom inmätning av punkter med RTK-GPS.

Då förundersökningen klargjorde fornlämningens omfattning och konstruktion och material för datering påträffades gjordes bedömningen att vidare undersökning ej var nödvändig.

I rapporttexten nedan benämns de undersökta kontexterna (individuellt dokumenterade lager/anläggningar/konstruktioner) med ”L”, ”A” eller ”K” samt det inledande punktnumret de fick i den löpande serie som genereras i GPS:en vid inmätning (nummer 104–318 vid förundersökningen). På planerna anges endast siffrorna.

Blästplatserna

Vid förundersökningarna avbanades ytorna kring de synliga delarna av fornlämningarna med hjälp av grävmaskin. Torven lämnades kvar på ugnar, slaggarvarp och fällstenar, för att de inte

skulle skadas av erosion under de månader som skulle förlöpa innan slutundersökningarna (se figur 4). De avbanade ytorna rensades med hjälp av hackor, och anläggningarna mättes in med RTK-GPS. Då inga lager eller konstruktioner utöver de ovan nämnda konstaterades inom de avbanade ytorna genomfördes ingen ytterligare handgrävning i förundersökningsskedet.



Figur 4. Blästplats L1945:9225 efter maskinavbaning. Centralt i bilden ses slaggvarpet. Foto mot N av Annabell Fogelberg.

Vid slutundersökningarna avtorvades de förekommande anläggningarna, och de undersöktes därefter genom handgrävning med skårslev, hacka och spade. Ugnarna delundersöktes och dokumenterades genom digital inmätning, handritning i sektion samt genom fotografering. Lodfoton togs med hjälp av drönare. Slaggvarpen delundersöktes genom schaktgrävning och dokumenterades genom digital inmätning och fotografering. Punkter inmättes med tät frekvens över slaggvarpens ytor och kring deras bas för att möjliggöra volymeräkning av slagg.

Material för ¹⁴C-datering insamlades från slaggvarpens topp och botten, från ugnarnas bottenlager samt från trärester i ugnskonstruktionerna (träramar runt sandpackning). Malm och slagg insamlades för arkeometallurgiska analyser.

I rapporttexten nedan benämns de undersökta kontexterna med ”L”, ”A” eller ”K” samt det inledande punktnumret de fick i den löpande serie som genereras i GPS:en vid inmätning (nummer 180–733 vid slutundersökningarna). På planerna anges endast siffrorna.

Förundersökning av kolbotten efter liggmila L1945:5135

Kolbotten var ca 10×5,5 m stor inklusive omgivande vallar, och omgiven av en 0,3–0,5 meter bred ränna (A141) mot väster, öster och söder (figurer 5 och 6). Ränna saknades norr om anläggningen där marken sluttade ned mot norr, där fanns dock en 7×10 meter stor yta med

kol- och sotförekomst (L178) utanför milan som har tolkats utgöra arbetsytan mot vilken man har rivit milan när kolningen var klar (se figur 6). Vallarna utgör rester av den stybb som har täckt hela milan före raseringen, uppgrävd från den utanförliggande rännan.

Schakt grävdes genom vallarna i öster och väster vidare in i anläggningens botten. Vallarna (A121) var 0,2–0,4 meter höga och överlagrade delvis det kollager (L104) som fanns kvar i milans botten. Detta lager var endast ca 0,05–0,1 meter tjockt utan någon inre stratigrafi. I det västra schaktet påträffades en rest av liggande trä (A311) i rännan. Träet var kraftigt förmultnat och delvis kolat, och har sannolikt rasat ut från milan. Möjligen har det ingått i milans bottenkonstruktion (en rost av slanor och/eller stockar). Även i det östra schaktet framkom rester av en stock (A318) under vallen; vallen har i denna del rasat in över själva milan efter rivning. Milans innermått har därmed varit ca 7,5×3,5 meter (eller något större med tanke på att vallarna har rasat in över botten).

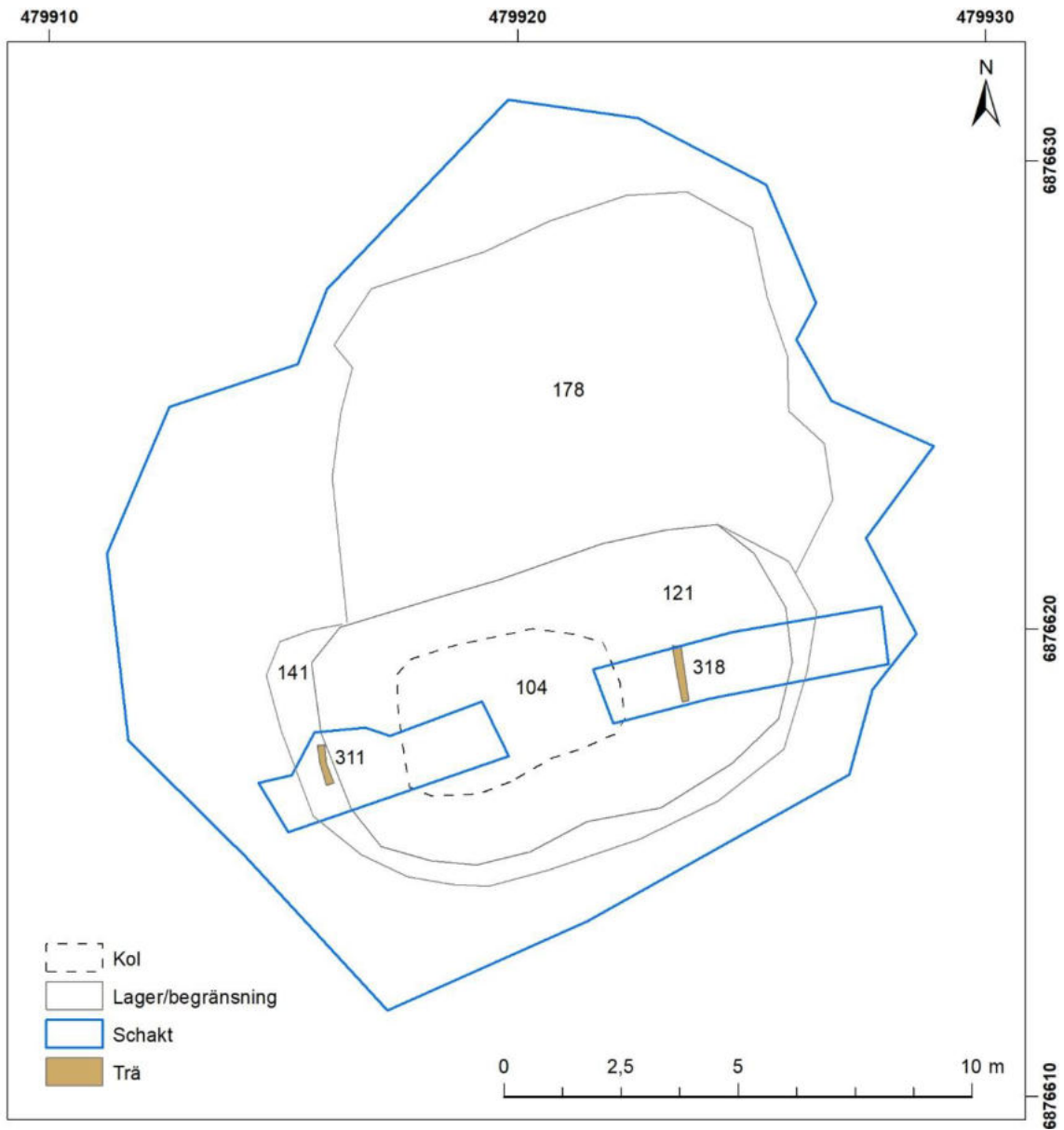
Resterande delar av kolbotten undersöktes med jordsond för att söka eventuella konstruktionsdetaljer (t.ex. en tändtrumma, en dylik har påträffats vid en tidigare undersökning av en liggmila i Härjedalen, se Lööv & Rahm 2017). Inga konstruktioner påträffades dock. Metalldetekteringen av kringytorna gav inte heller några resultat. En profil av kolbotten längs dess längdaxel har framställts med hjälp av inmätta höjdpunkter (figur 7). Sektionsritning bedömdes överflödig då ingen inre stratigrafi förelåg.

Kol från träresterna A311 och A318 samt från anläggningens botten (L104) insändes för vedarts- och ¹⁴C-analys. Vedartsanalysen visade att samtliga prover var av tall. Proverna från A311 och A318 hade låg egenålder, medan provet från L104 sannolikt hade en egenålder närmare eller över 30 år (bilaga 2). ¹⁴C-dateringarna gav dateringsintervall som med 95,4% sannolikhet (2σ) tillsammans landar i 1500-talet (för mer exakta dateringar se bilaga 3).

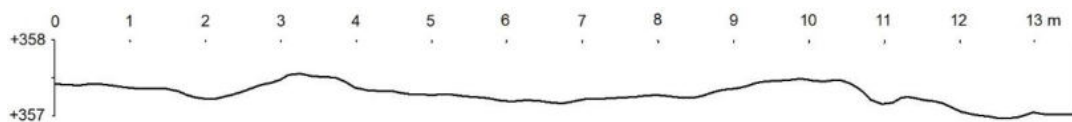
Som ovan nämnts blev liggmilen endast föremål för förundersökning då vidare undersökning bedömdes överflödig.



Figur 5. Kolbotten L1945:5135 efter avbaning med maskin. Foto mot NV av Annabell Fogelberg.



Figur 6. Plan över undersökta schakt och kontexter. Skala 1:150.

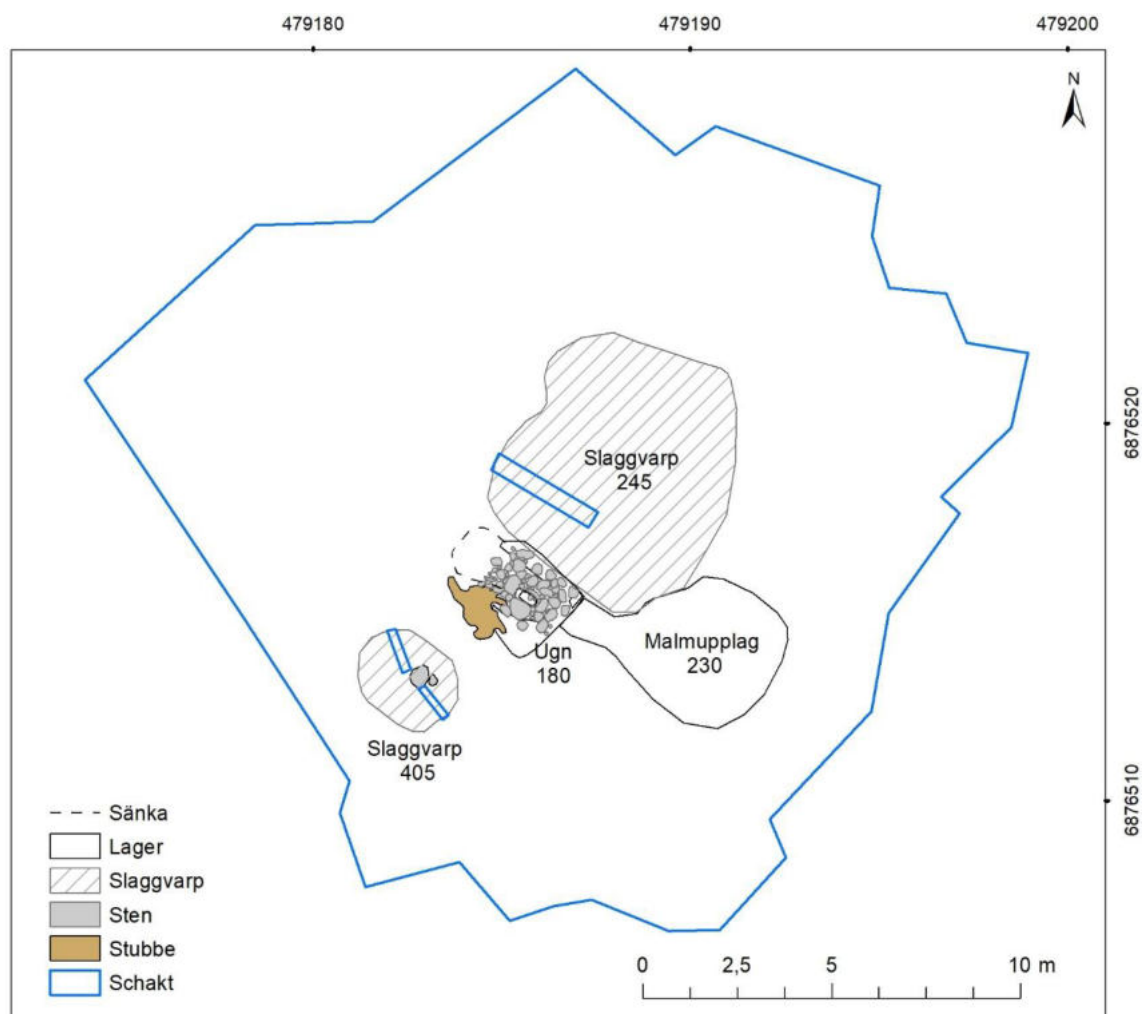


Figur 7. Kolbottens profil mot NNV längs längdaxeln. Vallarna ses mellan 2,5–4 och 8,5–11 längdmeter. Skala 1:100.

Undersökningar av blästplats L1945:9225

Vid förundersökningen av blästplatsen i juni månad konstaterades att det fanns en ugn, ett slagghvarp och en fällsten med fällslag kring på platsen. Anläggningarna undersöktes ej vidare i det skedet. Vid den påföljande undersökningen i augusti uppdagades det att det även fanns ett tunt lager med rostad malm (rest av malmupplag) i anslutning till ugnen och slagghvarpet (se schaktplan i figur 8).

Vid den avslutande undersökningen i augusti undersöktes ugnen samt ytorna i direkt anslutning till den där schakt grävdes ned till orörd mark så att ugnens konstruktion och uppbyggnad kunde tolkas och dokumenteras. Slagghvarpet samt fällslagghvarpet kring fällstenen undersöktes genom grävning av ett schakt. Malmlagret delundersöktes i anslutning till ugnen.



Figur 8. Schaktplan med huvudsakliga kontexter. Skala 1:200.

Blästerugnen

Efter avtorvning och rensning blev det synligt i plan att ugnen omgärdades av ett gulbrunt lager påförd sand (L315) (figur 9). Vid nedgrävning kring ugnens södra halva kunde det konstateras att lagret var 0,3–0,4 meter tjockt, och att det avgränsades utåt av rester av stående träplankor (A284, A434) som utgjort ett ramverk kring sandpackningen. I konstruktionens sydöstra hörn fanns även rester av en liggande stock (A343). Träresterna var mycket dåligt bevarade och bestod huvudsakligen av ett skikt med kol och sot (figur 10). Sandlagret fyllde ett ca 0,3–0,4 meter brett utrymme mellan ugnen och träramen, men det hade flutit ut över kanterna i toppen

till en bredd av 0,5–0,6 meter. En nedgrävningskant (A289) mot den orörda markytan utanför ramverket kunde anas i plan i SÖ och SV och var även synlig i sektion mot en stubbe som störde konstruktionen i nordväst. Sandpackning och träram saknades norr om ugnen, där fanns istället en 1,5×1,4 meter stor nedtrampad sänka/svacka (A347) i terrängen.



Figur 9. Blästerugnen efter avtorvning. Foto mot SÖ av Kristina Jonsson.



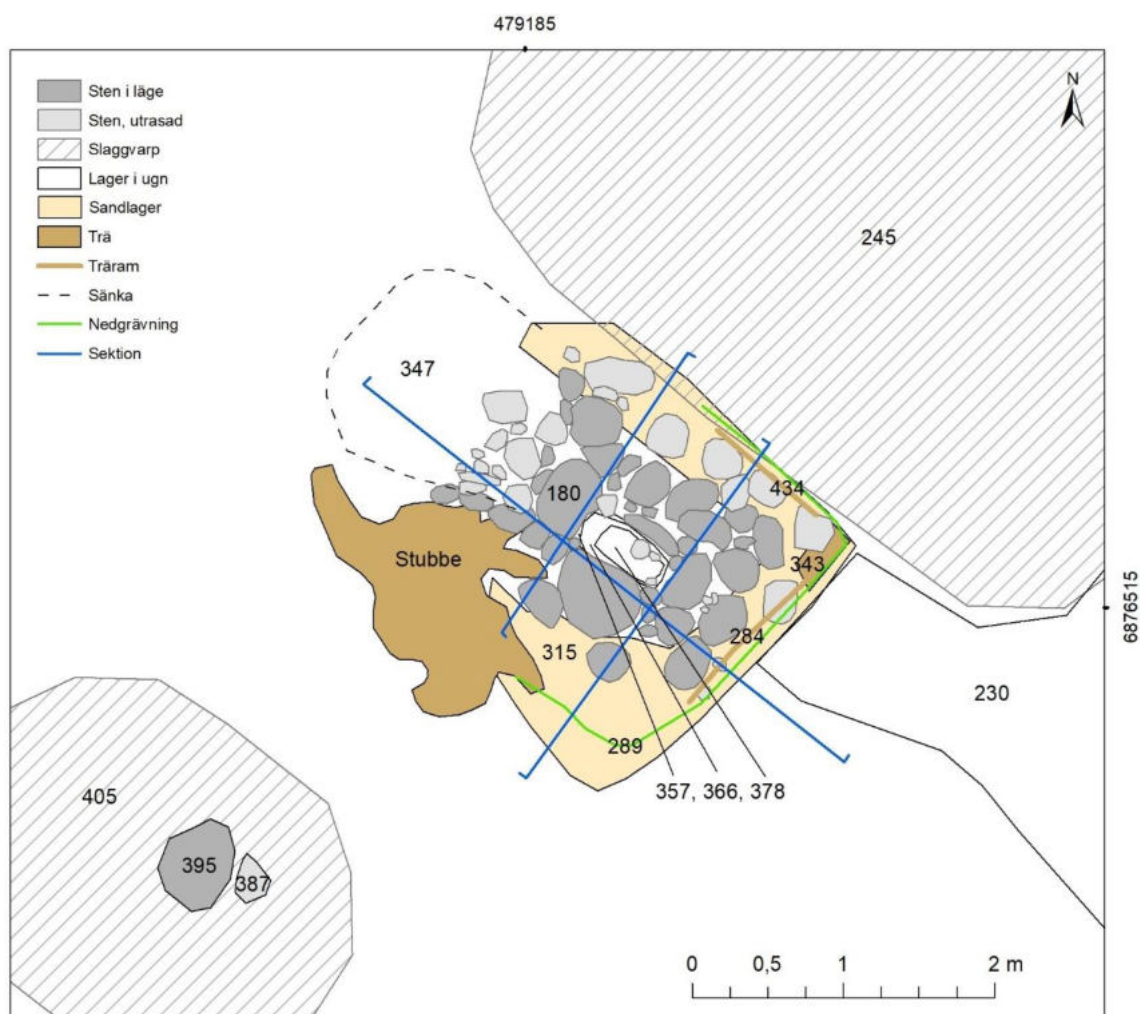
Figur 10. Rester av träramverk (A284). Foto mot NÖ av Kristina Jonsson.

Över ugnen låg lösa slaggbitar direkt under torven. Dessa samlades in för analys, men klassades som rensfynd. Därunder i den övre delen av ugnsschaktet fanns ett lager med rödbrun grusig sand (L357) med inslag av kol, slagg och bitar av bränd lera (rester av ugnsfodring/ ugnsväggar). Detta låg på ett lager med rikligt med kol, samt grus och sand (L366). Mot botten

av detta lager fanns ytterligare slagg. Lager 366 låg på ugnens botten som var 0,45×0,2 meter stor och bestod av rödbränd sotig hårdpackad sand (L378).

Ugnsschaktet var uppbyggt av fyra flata stående stenhällar som bildade ett fyrkantigt schakt. Hällarna var nedgrävda ca 0,1 meter i marken. Tre av dem var 0,35–0,4 meter breda och höga medan den fjärde mot nordväst endast var 0,25×0,25 meter. Den lägre hällen vette mot den del av ugnen som saknade sandpackning på utsidan, där den nedtrampade svackan fanns på utsidan. Öppningen för bälgpipan/forman har sannolikt varit över denna lägre häll, men någon tydlig sådan kunde inte ses i konstruktionen – ett hålrum fanns dock i sandlagret som låg över hällen. Över hällarna, kring ugnsschaktet, hade ugnen byggts upp med rundade naturstenar i 1–2 skift till en höjd av 0,6 meter inklusive hällarna. Det övre skiftet var utrasat åt sidorna, varvid ugnens ursprungshöjd är svårberäknad. Extra stödstenar har även lagts på utsidan av det uppmurade schaktet.

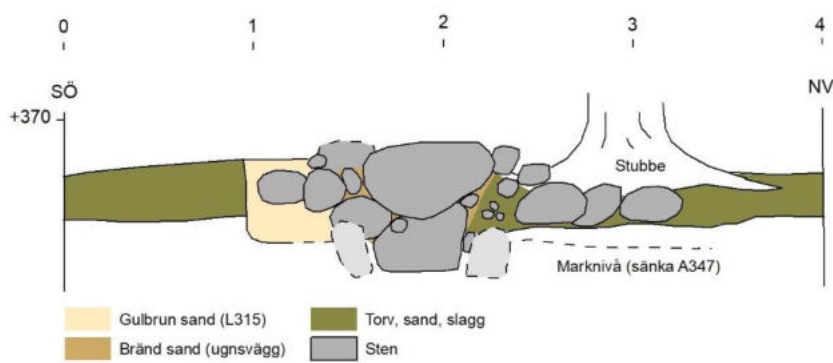
När de stenar som bedömdes vara nedfallna från konstruktionen hade avlägsnats framstod den ursprungliga stenkonstruktionen (K180) som rektangulär, 1,8×1,3 meter stor, med en 0,6×0,3 meter stor rundat rektangulär öppning i mitten (ugnschaktet). I nordväst löpte även rader med 2–3 lagda stenar ut från ugnen, vilka avgränsade den trampade ytan A347. Sektionsritningar framställdes av ugnens södra, västra och östra sidor (figurer 11 och 12).



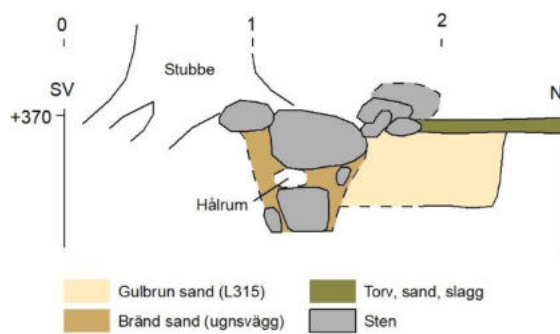
Figur 11. Plan över undersökta kontexter relaterade till blåsterugnen. Skala 1:50.



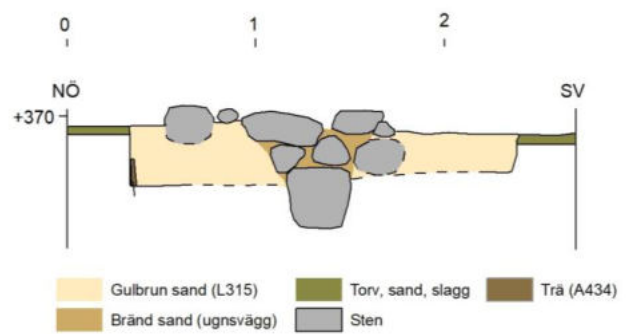
Figur 12. Blästerugnen efter tömning och bortplockning av utrasade stenar. Lodfoto av Anders Hansson.



Figur 13. Sektionsritning av ugnen mot SV. De ljusare stenarna med streckade linjer ligger framför sektionen (sidobällar i ugnschakt). Skala 1:40. Ritning av Kristina Jonsson.



Figur 14. Sektionsritning av ugnen mot NV. Skala 1:40. Ritning av Kristina Jonsson



Figur 15. Sektionsritning av ugnen mot SÖ. Skala 1:40. Ritning av Kristina Jonsson.

Trärester från träram A434 och kol från lager 366 i botten av ugnen insändes för vedarts- och ¹⁴C-analys. Vedartsanalysen visade att båda proverna var från tall. Träet från A434 kunde inte bedömas med avseende på egenålder, även träkolet från L366 var svårbedömt och troligen översteg åldern 30 år (bilaga 2). ¹⁴C-dateringarna gav, om man väljer intervallen med högst sannolikhet (2σ), följande resultat: Träram A434 daterades till 1390–1432 e.Kr. (58,8% sannolikhet), lager 366 på ugnens botten till 1453–1526 e.Kr. (52,6% sannolikhet) (bilaga 3).

Slaggvarpet

Slaggvarpet (A245) låg i direkt anslutning till den östra sidan av ugnen, på mark som sluttade svagt mot norr (figurer 8 och 16). Det var 6,5×6 meter stort och upp till 0,7 meter högt. Ett schakt grävdes från dess högsta punkt och ut till kanten mot nordväst, i det parti där det bedömdes vara högst sannolikhet för att slaggen fortfarande låg in situ och inte hade rasat ned i slänten mot norr. Ingen inre skiktning kunde ses i slaggvarpet, ej heller föreföll slaggen vara av olika typ i skilda delar av varpet. Material för analys (slagg och bränd lera) insamlades från varpets högsta respektive lägsta del.



Figur 16. Slaggvarpet (ej avtorvat) ses i bilden bakom blästerugnen. Foto mot N av Kristina Jonsson.

En grov volymmätning av slaggvarpet har gjorts genom inmätning av punkter över hela dess yta samt dess omkrets. Därefter har terrängmodeller genererats av ytan och markplanet genom GIS-bearbetning, vilka sedan har lagts samman för att beräkna volymen (*Surface difference* i ArcGIS Pro). Varpets totala volym omfattar enligt denna beräkning 7,2 m³ – denna beräkning utgår dock från att markplanet under varpet har en jämn yta vars nivåer har genererats från höjder på det omkringliggande markplanet (för problematiken kring detta, se nedan om slaggvarpet på blästplats L2022:10033). Samma data har även använts (med hjälp av Håkan Thorén, specialist på Vasamuseet) för att volymläsa en 3D-modell i Agisoft Metashape. I denna modellering landade siffran på 8,85 m³. Ett snitt mellan dessa värden blir 8 m³. Då slaggen var uppblandad med kol och sand, och de luftfickor som uppstår i anslutning till de ojämna slaggklumparna,

torde närmare hälften av denna volym kunna räknas bort i bedömningen av den totala slaggmängden. Bedömningen blir därmed att omkring 4 m³ slagg har genererats under platsens användningstid.

Kol från slaggbitar i det stora slaggharpets (A245) botten och topp insändes för vedarts- och ¹⁴C-analys. Vedartsanalysen gav samma resultat som för proverna från ugnskonstruktionen: trä från tall med en egenålder som sannolikt översteg 30 år (bilaga 2). ¹⁴C-dateringarna gav, om man väljer intervallen med högst sannolikhet (2 σ), följande resultat: Slaggen från botten daterades till 1277–1319 e.Kr. (59% sannolikhet), slaggen från toppen till 1445–1523 e.Kr. (64,4% sannolikhet) (bilaga 3).

Fällsten och fällslag

Fällstenen var belägen omkring tre meter sydväst om ugnen. Den var sprucken i två delar (A387, A395), och omgiven av ett upp till 0,15 meter tjockt lager med fällslag (L405) som sträckte sig till mellan 0,7 och 1,4 meter ut från stenen (figurer 8 och 17). Två schakt grävdes genom fällslaggharpet, ut från fällstenen mot nordväst och sydöst till varpets kant. Inte heller i detta slaggharp kunde inre skiktningar eller variationer ses. Material för analys insamlades från varpets högsta respektive lägsta delar.



Figur 17. Fällstenen med fällslag runt om. Foto mot SV av Kristina Jonsson.

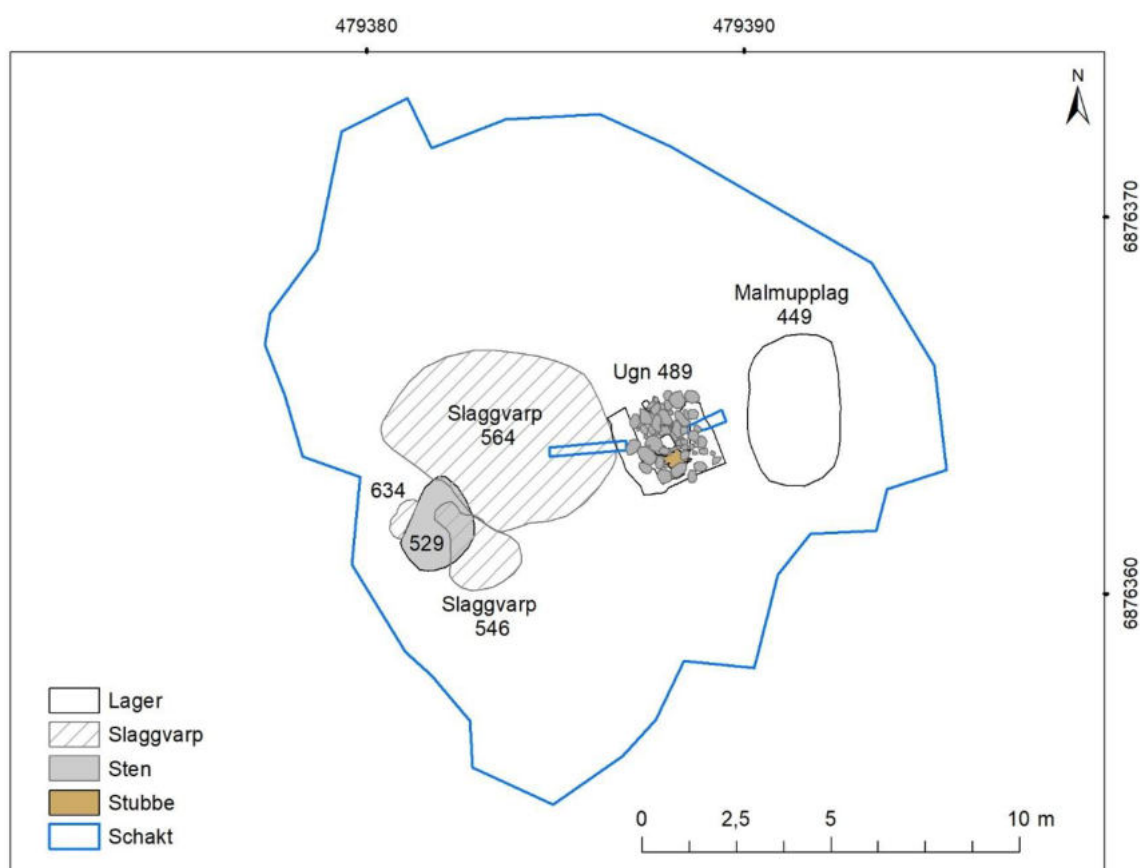
Malmupplag

Ett ca 4 meter i diameter stort lager med rostad malm (L230) fanns sydöst om ugnen. Från den runda utbredningen, som torde motsvara själva malmupplaget, fortsatte lagret in mot ugnens sydöstra sida. Lagret var tunt (0,01 meter) förutom direkt utanför ugnen där det uppnådde en tjocklek upp till 0,07 meter.

Undersökningar av blästplats L2022:10033

Vid förundersökningen av blästplatsen i juni månad konstaterades det finnas samma uppsättning av anläggningar som på blästplats L1945:9225: en ugn, ett slagghvarp och en fällsten med fällslagglag runtom. Ugnen och slagghvarpet bedömdes ha körskador, mellan dem löpte en sänka som tolkades som ett hjulspår från en skogsmaskin. Anläggningarna undersöktes ej vidare under förundersökningen. Vid den påföljande undersökningen i augusti uppdagades det även på denna plats att det fanns ett otydligt tunt lager rostad malm i anslutning till ugnen och slagghvarpet (se schaktplan i figur 18).

Vid den avslutande undersökningen i augusti undersöktes ugnen samt ytorna i direkt anslutning till den där schakt grävdes ned till orörd mark så att ugnens konstruktion och uppbyggnad kunde tolkas. Slagghvarpet samt fällslagghvarpet kring fällstenen undersöktes genom grävning av schakt. Malmlagret undersöktes ej närmare, men ett prov insamlades för analys.



Figur 18. Schaktplan med huvudsakliga kontexter. Skala 1:200.

Blästerugnen

Blästerugnen (K489) var konstruerad på samma sätt som blästerugn 180 på blästplats L1945:9225. Dess yttre konstruktion undersöktes genom upptagande av ett schakt genom dess östra sida. En ca 2,3×2,4 meter stor nedgrävning (A731, endast delvis dokumenterad i detta schakt) har gjorts, vilken sedan har fodrats med en träram (A667) på insidan. Träramen syntes i plan som ett skikt av kol och sot som hade pressats utåt åt sidorna av sandlagret efter konstruktionens förmultnande. Nedgrävningen var fylld med orangebrun sand (L463) i en packning kring själva ugnskonstruktionen. Även detta sandlager, trots att det var skarpt avgränsat i plan (se figur 19), har pressats ut något åt sidorna vilket läget för den ursprungliga nedgrävningen visar (figur 21).



Figur 19. Blästerugnen efter tömning och delvis bortplockning av utrasade stenar. Lodfoto av Anders Hansson.

Ugnsschaktet innehöll ett upp till 0,25 meter tjockt övre lager (L646) med sand och småsten. I lagrets topp fanns inslag av slagg, och i dess botten bitar av bränd lera (ugnsfodring/delar av ugnsväggar). Under detta lager fanns ett 0,1–0,2 meter tjockt kollager (L655) med inslag av slagg och bränd lera. Detta täckte ugnens botten (L672) som bestod av en 0,4×0,3 meter stor yta med rödbränd sotig hårdpackad sand. På ugnens botten låg en bottenskolla (slagg) *in situ*.

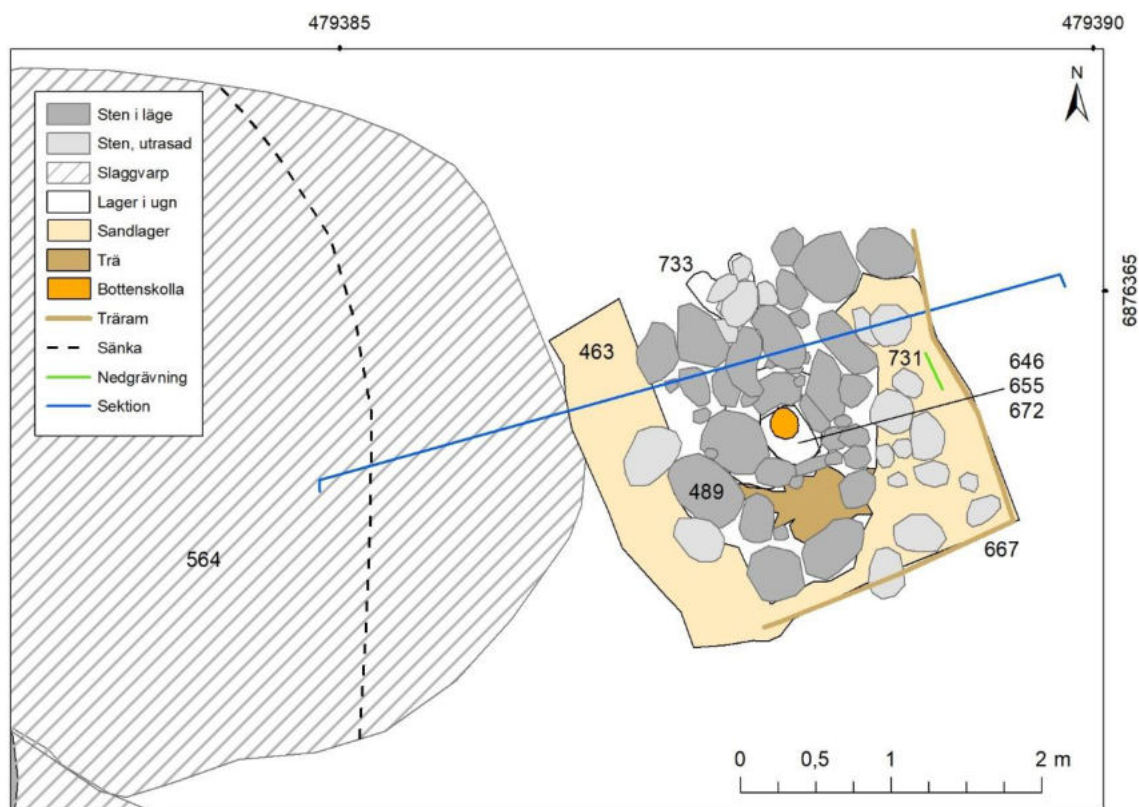
Ugnsschaktet, något djupare nedgrävt än den övriga nedgrävningen för sandpackningen, var uppbyggt av fyra flata stående stenhällar som bildade ett fyrkantigt schakt. Sidohällarna mot väster, söder och öster var 0,4 meter breda och höga medan den mot norr var 0,2 meter hög. På och runt hällarna låg ytterligare stenar i 1–2 skift, delvis utrasade åt sidorna. Även i denna ugnskonstruktion har stödstenar lagts runt den inre stenkretsen. Ugnen har ursprungligen haft en storlek på ca 1,7×1,4 meter och en höjd på 0,6 meter.

Norr om ugnen, i mark som sluttar ned mot norr, fanns en stenfri yta med hårdpackad delvis rödbränd lera (L733) som inledningsvis var täckt av utfallna stenar från ugnskonstruktionen (figur 20, jfr figur 19). Ytan kringgärdades av stenar lagda mot ugnskonstruktionen, och sannolikt representerar den läget för bälgen. Ingen öppning för bälgpipan kunde ses i ugnsväggen mot norr, men hällen mot norr i ugnsschaktet var lägre än sidohällarna (jfr ugnen på L1945:9225 ovan).

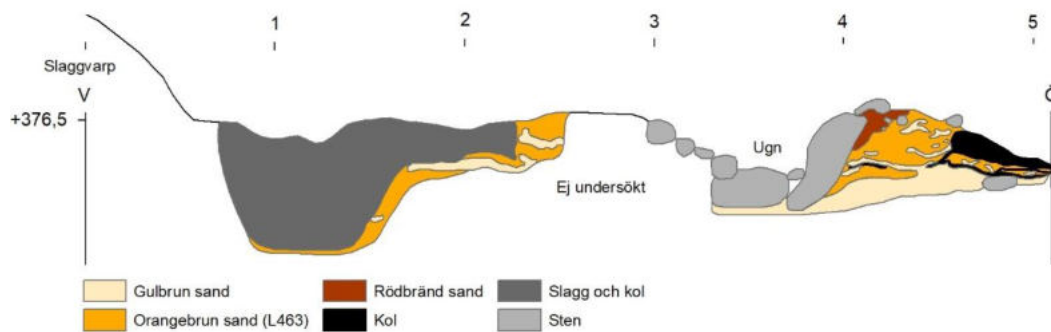


Figur 20. Blästerugnen efter bortplockning av samtliga utrasade stenar. Foto mot SSÖ av Kristina Jonsson.

En sektionsritning framställdes av halva ugnskonstruktionen, från det inre ugnsschaktet och ut genom sandpackningen och träramen (figur 22). I förlängningen av samma sektion undersöktes även det intilliggande slagghvarpet.



Figur 21. Plan över undersökta kontexter relaterade till blästerugnen. Skala 1:50.



Figur 22. Sektionsritning av ugnen samt delar av slagghvarpet mot N. Det övre kollagret i Ö motsvarar de utrasade resterna av träramen (A667). Skala 1:40. Ritning: Frida Dahl, renritad av Kristina Jonsson.

Trärester från träram A667 och kol från lager 672 i botten av ugnen insändes för vedarts- och ^{14}C -analys. Vedartsanalysen visade att båda proverna var från tall. Egenåldern på dessa prover bedömdes vara högre än de från blästplats L1945:9225, det vill säga över 30 år (bilaga 2). ^{14}C -dateringarna gav, om man väljer intervallen med högst sannolikhet (2σ), följande resultat: Träram A667 daterades till 1309–1361 e.Kr. (56% sannolikhet), lager 672 på ugnens botten till 1418–1474 e.Kr. (95,4% sannolikhet) (bilaga 3).

Slagghvarpet

Slagghvarpet (A564) låg i direkt anslutning till den västra sidan av ugnen, på mark som sluttade både mot norr och mot väster (figurer 18 och 23). Det var $6,25 \times 4,5$ meter stort och upp till 0,7 meter högt. Ett schakt grävdes från dess högsta punkt och ut till kanten mot öster. Vid nedgrävning i ytan mellan det ovan jord synliga slagghvarpet och ugnen visade det sig att den plana yta som fanns där inte hade uppstått på grund av en körskada. Slagghvarpet fortsatte där ned under markytan, och fyllde upp en 0,8 meter djup nedgrävning. Möjligen har där funnits en naturlig svacka i terrängen, som har grävts ur i samband med anläggandet eller en reparation av ugnen.



Figur 23. Blästplats L2022:10033 före undersökning. Slagghvarpet ligger till höger i bild (delvis trädbemuxet) och ugnen till vänster i bild mellan de två lägre stubbarna. Foto mot söder av Kristina Jonsson.

Ingen inre skiktning kunde ses i slaggvarpet, ej heller föreföll slaggen vara av olika typ i skilda delar av varpet. Material för analys insamlades från varpets högsta respektive lägsta del. Volymberäkningar enligt samma modeller som beskrivits ovan har gjorts, och givit resultatet att slaggvarpets totala volym ovan marknivån var mellan 3 och 4,4 m³. I detta fall blir dock resultatet mycket mer osäkert med anledning av slaggvarpets okända utbredning under vad som idag uppfattas som ursprunglig marknivå. En ungefärlig bedömning av genererad slaggmängd blir därmed mellan 1,5 och 2,2 m³ slagg.

Kol från slaggvarpets (A564) botten och topp insändes för vedarts- och ¹⁴C-analys. Vedartsanalysen gav samma resultat som för proverna från ugnskonstruktionen: trä från tall med en egenålder som översteg 30 år (bilaga 2). ¹⁴C-dateringarna gav, om man väljer intervallen med högst sannolikhet (2 σ), följande resultat: Slaggen från botten daterades till 1452–1525 e.Kr. (53,8% sannolikhet), slagg från toppen till 1335–1396 e.Kr. (56,1% sannolikhet) (bilaga 3).

Fällsten och fällslag

Den yta som har använts som fällsten (A529) på platsen består av en markfast häll (figur 24). Hällen är belägen i den västra änden av blästplatsen, och väster om den sluttar marken relativt brant ned mot en nu uttorkad bäckfåra. Fällslag fanns på stenens yta och fällslagvarpet (A546) fortsatte ned över den plana markytan sydöst om hällen (figurer 18 och 25). En mindre mängd fällslag (A634) hade även rasat ned på hällens västra sida.



Figur 24. Hällen som har använts som fällsten. Foto mot SÖ av Kristina Jonsson.



Figur 25. Fällstenen (ljus stenblock t.h.) och fällstensvarpet (i huvudsak t.v. om stenen). Lofoto av Anders Hansson.

Malmupplag

Ett svåravgränsat lager med rostad malm (L449) fanns öster om ugnen (se figur 18). Det var ca 4×2,5 meter stort och upp till 0,03 meter tjockt. Lagret mättes in men undersöktes inte ytterligare. Ett malmprov för analys insamlades.

Tolkning och diskussion

Liggmilan

Kolningsanläggningen L1945:5135 stämmer överens i storlek med de övriga rektangulära kolbottarna som har registrerats i samband med fornminnesinventering i området. De har beskrivits som 8–9 meter långa och 5–7 meter breda, med en inre utbredning på ca 5–6×3 meter. L1945:5135 var 10×5,5 meter stor med en inre yta på ca 7,5×3,5 meter (möjligen något större med tanke på att vallarna har rasat in något). Att denna är marginellt större än de övriga registrerade kolbottarna är sannolikt en sanning med modifikation då milornas exakta storlek är svår att avgöra i en inventeringssituation då de är övertorvade. Ytterligare en kolbotten har totalundersökts i Härjedalen tidigare (L1945:5921 i Svegs socken): den var 7×5 meter stor med ett innermått på 4,3×2,3 meter. Runt kolbotten fanns en stybbränna, men inga vallar (Lööv & Rahm 2017).

Kolbotten L1945:5135 fick en datering till 1500-talet. Två tidigare dateringar av delundersökta kolbottnar finns från det direkta närområdet, dessa stämmer väl överens tidsmässigt med denna datering: L1945:113 och L1945:666/739, som ligger omkring en kilometer nordväst om L1945:5135 har fått dateringar till 1459–1696 och 1423–1646 (Magnusson 1986:393, omkalibrerade 2020). De övriga två dateringarna från Älvros socken ligger sannolikt i 1400-tal (jfr ovan om tidigare arkeologiska undersökningar i Älvrostrakten).

Jamtis ovan nämnda forskningsprojekt kring järnhantering i Härjedalen har belagt ett samband mellan rektangulära kolmilor (liggmilor) och medeltida järnframställning medan resmilorna i området är sentida (se Fogelberg 2023; Jonsson 2023; Olofsson 2023a). Regionala skillnader vad gäller datering av miltyper finns dock inom landet: i den genomgång av aktuell forskning kring kolning som gavs ut av Riksantikvarieämbetet 2019 har det konstaterats att liggmilan i ett riksperspektiv introducerades under 1200-talet och resmilan under 1400-talet, och att båda typerna har använts parallellt långt fram i tiden (Hennius 2019:6). Från Härjedalen har det dock tillkommit en vikingatida datering av en liggmila sedan denna kunskapsöversikt publicerades; L1945:7648 i Svegs socken har inom Jamtlis forskningsprojekt daterats till 884–1024 (2 σ) (Jonsson 2023:48). Sammanfattningsvis kan det konstateras att de (fåtaliga) kolbottnar som har undersökts i Älvrostrakten pekar på att liggmilorna i detta område är från 1400- och 1500-tal.

Blästplatserna

Datering och regionala jämförelser

Anläggandet av L1945:9225 har sannolikt skett någon gång under 1300-talet. Dateringarna går något isär: träramen i ugnens konstruktion, som borde ha fått den äldsta dateringen, ligger med störst sannolikhet i intervallet 1390–1432, och med något mindre sannolikhet i 1321–1357.

Dateringen av träkol från slagg i botten av slaggvarpet är dock äldre: med störst sannolikhet från 1277–1319 och med något lägre 1360–1388. Detta kan tolkas på två sätt: antingen hamnar en samtida datering av ugnskonstruktionen och slaggvarpets äldsta komponenter någonstans under (mitten av?) 1300-talet, eller så visar den högre åldern på den äldsta slaggen att järnframställningen påbörjades under sent 1200- eller tidigt 1300-tal och att ugnen vid ett senare tillfälle har byggts om eller restaurerats. Dateringen från ugnens botten, som sannolikt motsvarar den sista blåsningen av järn, är från någon gång mellan mitten av 1400-talet och början av 1500-talet. Kolet från slagg i varpets topp har fått samma dateringsintervall som ugnsbotten. Sammantaget tyder dateringarna på att blästplatsen var i bruk under åtminstone en period av 100 år från 1300-tal till 1400-tal.

L2022:10033 har fått mer komplicerade dateringar, åtminstone från slaggvarpet. Träramen runt ugnen daterades med störst sannolikhet till 1309–1361, och med något lägre sannolikhet till 1388–1423. Kol från botten av slaggvarpet, där det fortsatte ned 0,8 meter under markytan, fick en datering till 1452–1525 medan kol från toppen som borde vara yngre daterades till 1335–1396. Något har uppenbarligen skett på denna plats; den nedgrävning intill ugnen som slaggvarpet fortsatte ned i har sannolikt gjorts mot slutet av blästplatsens användningstid – möjligen för att skapa nytt utrymme för dumpning av slagg. Dateringen av slagg från gropens botten kan därmed inte sägas spegla platsens äldsta fas av användning. Kolet från ugnens botten fick en datering till 1418–1474 med 95,4% säkerhet vilket tillsammans med dateringen av träramen ger resultatet att även denna blästplats har varit i bruk i åtminstone 100 år mellan 1300- och 1400-talet (de långa tidsspannen diskuteras ytterligare nedan).

Ugnarna bär utseendemässigt stor likhet med de två tidigare undersökta i Långskogen i Älvros socken (L1945:684, L1945:863) som har beskrivits ovan. Framför allt finns stora likheter med L1945:863 där även en träram påträffades kring sandvallens utbredning. I Älvrostrakten fanns uppenbarligen en lokal tradition gällande hur blästplatser har byggts upp och organiserats. Dateringsmässigt ligger blästplatserna också relativt nära varandra. Ugnarna i Långskogen förefaller vara anlagda något tidigare, möjligen under 1200-talet vilket i och för sig även kan sägas om L1945:9225, och de har använts fram till 1400- eller 1500-talet.

Utöver undersökningarna i Långskogen har endast tre blästplatser tidigare varit föremål för totalundersökning i Härjedalens kommun: L1946:7642 söder om byn Remmet i Svegs socken, L1945:970 söder om Överhogdal i Överhogdals socken samt L1945:390 norr om byn Ängersjö i Ängersjö socken (Hälsinglands landskap). Ugnen utanför Remmet, som ligger omkring 2,5 mil

västnordväst om Älvros kyrkby, är relativt lik de ovan redovisade men den var i princip helt ingrävd i kanten av en rygg på en sandplåt och saknade kringbyggnad i form av påförd sandpackning (Magnusson 1986:122f). Kol från slagg har daterat platsen till 1456–1711 (Magnusson 1986:386, omkalibrerat 2020). Ugnen i Ängersjö, belägen ca 1,2 mil östsydöst om Älvros, var också ingrävd i kanten av en höjdsträckning och saknade kringbyggnad. Denna ugn skiljer sig från de övriga genom att den hade en slaggavtappningskanal som mynnade ut i bälggropen (Magnusson 1986:125ff). Ett ¹⁴C-prov från platsen har daterats till 1394–1670 (Magnusson 1986:397, omkalibrerat 2020). Ugnen som undersöktes utanför Överhogdal har beskrivits vara av Evenstadstyp (Hansson 1998:4ff), och var omgiven av en timrad träram med fyra stockvarv bevarade. Träramen, och även ugnen, var anlagda i en nedgrävning liksom ugnarna utanför Älvros kyrkby. En ¹⁴C-datering av timmerkonstruktionen gav resultatet 1278–1407 och en datering av slaggkol 1384–1523. Ett kolprov från slaggvarpet fick en datering till yngre järnålder (668–898), men då den skiljer sig så mycket från de övriga har kolet tolkats härröra från en äldre skogsbrand (Hansson 1998:4, dateringarna omkalibrerade 2020).

Blästplatserna i Älvrostrakten är av typen skogsbundna järnframställningsplatser enligt Gert Magnussons indelning, till skillnad från strandbundna. I Jämtlands län dominerar de skogsbundna; när Magnussons avhandling publicerades 1986 utgjorde de ca 86% av de då registrerade järnframställningsplatserna. I Härjedalen fanns det vid Magnussons genomgång ingen känd strandbunden blästplats (Magnusson 1986:54f, 248). Här bör det noteras att Jämtlands fornminnesinventeringar i sydöstra Härjedalen mellan 2014–2016 ledde till en ökning med nästan 400% av kända lämningar relaterade till järnhantering (blästplatser och kolbottnar) i det berörda området (Olofsson 2015, 2016, 2017; Engman, Jonsson & Olofsson 2018) vilket gör att Magnussons statistik i vissa fall nu kan vara missvisande. Ingen av de blästplatser som registrerades mellan 2014–2016 var dock strandbunden. De strandbundna järnframställningsplatserna i Jämtland förekommer i huvudsak vid Storsjön, i socknarna Myssjö, Oviken och Hackås, men de förekommer även längs Härkan och Långans vattensystem och vid fjällsjöar längre norrut. Den hör till en äldre fas av järnframställningen och dateringsmässigt har de sin tyngdpunkt under folkvandringstid medan de skogsbundna blästplatserna har sin under medeltid (Magnusson 1986:54f, 169ff, 236).

Vad gäller ugnstyper visade Magnussons forskning att den kallmurade schaktugnen (gropugnen) har varit den vanligaste ugnstypen i länet, den omfattade knappt två tredjedelar av de då kända ugnarna i Jämtland och drygt 80% av de i Härjedalen. Den övrigt förekommande ugnstypen i Härjedalen var den uppbyggda kallmurade schaktugnen. Endast två ugnar i länet, den ovan nämnda utanför Ängersjö och en i Myssjö socken i Jämtland, har haft en anordning för slaggtappning (Magnusson 1986:248ff). Vad gäller slaggtappning så påverkas statistiken förstås av att en arkeologisk undersökning krävs för att konstatera förekomsten av sådana anordningar.

Ugnarnas konstruktion och drift

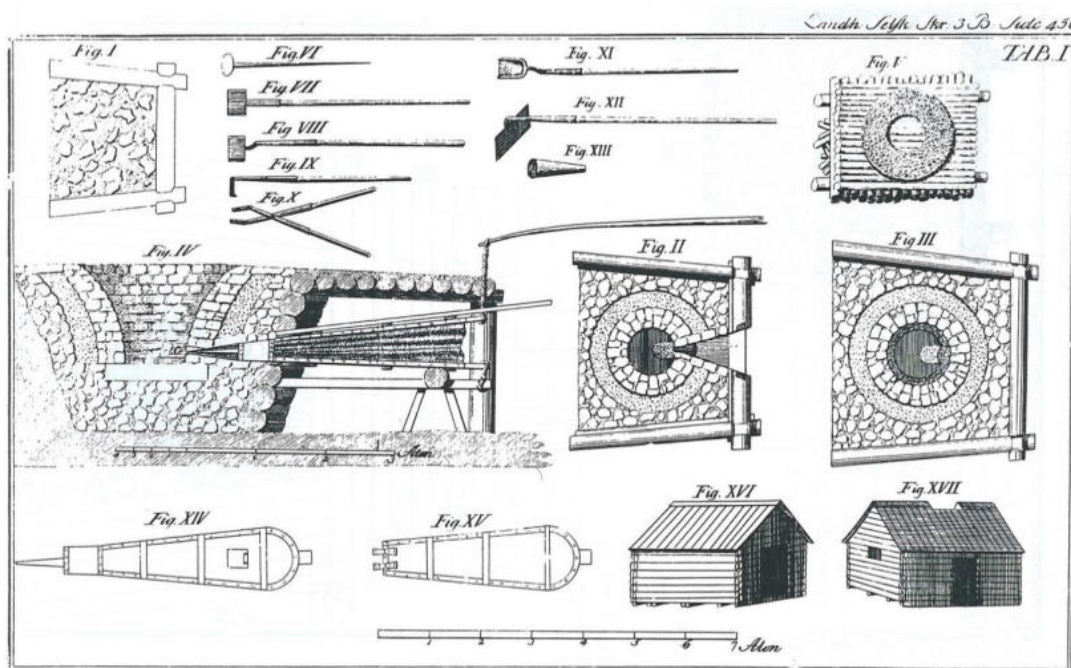
De två undersökta blästplatserna var så pass lika varandra att de nedan kommer att tolkas och diskuteras gemensamt. Ugnarnas konstruktion var i princip identisk: inledningsvis har man grävt en ca 0,7 meter i diameter stor och 0,2–0,3 meter djup grop i vilken man har placerat fyra flata sidohällar i kvadrat/rektangel (ugnsschaktets bottenkonstruktion). Tre av hällarna var ca 0,4 meter höga, medan den fjärde var ungefär hälften så hög. I båda fallen på dessa två blästplatserna var den lägre hällen placerad i anläggningens norra sida.

En 0,2–0,3 meter hög träram har därefter byggts kring de tre sidorna av ugnen där sidohällarna var högre, ca 0,5 meter utanför ugnsschaktet. Mellanrummet mellan schaktet och ramen har fyllts med sand. På blästplats L2022:10033 kan som ovan nämnts sanden möjligen ha tagits från den nedgrävning som fanns intill slaggvarpet, som var fylld med slagg (jfr sektionsritning i figur 22). I samband med att sanden har packats kring ugnsschaktets stående hällar har även rundade

stenar lagts över och kring dessa för att bygga upp konstruktionen på höjden så att ugnsschaktet fick ett djup på åtminstone 0,6 meter. Konstruktionernas ursprungliga höjd/djup kunde inte säkerställas vid undersökningarna eftersom stenpackningarna var utrasade åt sidorna. Ugnsschaktens insidor har varit tätade med lera. Sandpackningen kring ugnen har haft en stabiliserande funktion, men även fungerat som värmemagasin. Vid den sida av ugnen där sandpackning och träram saknades låg i stället rader med stenar som säkrade konstruktionen och kan ha fungerat som stöd för en blåsbälg.

Lufttillförseln till de undersökta ugnarna har med största sannolikhet skötts med hjälp av en bälg, vars munstycke har letts in i ugnsschaktets centrala del över den lägre sidohällen från den sida som saknade träram och sandpackning. Något ytterligare konstruktionselement som styrkte förekomsten av en bälg påträffades inte, men en trampad svacka fanns utanför den låga sidohällen på ugnen på blästplats L1945:9225 och en mindre yta med hårdpackad lera utanför den låga hällen på L2022:10033. Analyserna av keramiskt material (leror) påvisade att det åtminstone i ugnen på L1945:9225 fanns fragment av bränd lera med avtryck av kanten på ett blästerhål. Andra fragment har tolkats kunna vara delar av en blästersköld ("ugnslucka" av lera) liknande en mer komplett sådan som påträffades vid undersökningen 1990 av blästplats L1945:684 i Långskogen (jfr Pagoldh 1990:6) (Grandin & Stålborg 2024:20ff, se Bilaga 4). Blästerskölden av bränd lera har suttit över den lägre hällen i ugnens bottenkonstruktion, och gjort det möjligt att ta ut järnluppen utan att riva hela ugnen.

Typologiskt är ugnarna låga schaktugnar, tidigare även kallade gropugnar (jfr ovan), kallmurade delvis ovan mark och utan slaggavtappning (Magnusson 1986:245ff med referenser; Hjärthner-Holder, Grandin & Forenius 2013:24; för en genomgång av ugnstyper se även Engman 2023:10ff). Ugnstypen brukar även kallas "Evenstadsugn", efter en beskrivning av hur en ugn skulle uppföras redovisad av Ole Evenstad i hans avhandling från 1782. Evenstads beskrivning överensstämmer till delar med hur ugnarna i Härjedalen är uppbyggda, men det finns också skillnader – framför allt i mängden sten som har använts. Evenstad beskriver att ugnskonstruktionen ska grävas in i en sluttning, och att man därefter timrar en tresidig träkonstruktion mot urgrävningen. Vad som sedan skiljer sig åt mellan Evenstads instruktion och de undersökta ugnarna är att han anger att man ska anlägga ett trägolv i timmerkonstruktionen och därefter fylla den med sten upp till en höjd av 3/4 aln. Mitt på



Figur 26. Evenstads illustration från 1782 av en järnframställningsugn. Ur Espelund 1999:65.

stenpackningen skulle en flat sten placeras, som skulle utgöra ugnsbotten. Den vidare beskrivningen överensstämmer i huvudsak med härjedalsugnarna: man uppför en rund mur av flata stenar och lera, i vilken man gör ett urtag där blästerforman (blåsröret) ska gå in. Utanför denna mur (ugnsschaktet) lägger man sedan ytterligare sten och fyller ut med sand. I Evenstads exempel fyller man dock träramen med i huvudsak sten (Espelund 1999:17ff, se figur 26) medan ugnarna i Härjedalen endast har en sandpackning utanför.

En 1600-talskälla (Urban Hiärne 1687) beskriver samtida järnframställning i Härjedalen på följande vis: ”Men Myrjärnet eller annat mildt Järn behöfver icke så stor Eld eller så höga Ugnar, hvarigenom sådan malm forbrennes, utan det rostade Myrjärnet smeltes antingen i ganska små och låga Ugnar, hvilka de kalla Käringar, eller och i leerbeslagna Gropar som en Sockertop pyramidalt ingräfne, hvilka kallas bläster, som opvärmes först med torrved och blåses med trampebellior, sådan weden är halfbrunnen åter ny wed och deruppå malmen och åter wed. När det är smelt, tappas det af i små Ossmunds kakor” (Englund 2002:87).

De undersökta ugnarna förefaller i enlighet med Hiärnes iakttagelser på 1600-talet ha eldats med ved, då inga spår efter kolupplag eller kollager i övrigt kring ugnen framkom vid undersökningarna. Inga kollager påträffades heller på de övriga tidigare undersökta blästplatserna i området. Ett 20-tal kolbottnar finns i närområdet, men endast två av dem är efter liggmilor: den i denna rapport redovisade L1945:5135 som ligger 600–750 meter öster om blästplatserna och som har fått en yngre datering än blästplatserna, samt L1945:9241 som ligger ytterligare 290 meter mot nordnordöst. De övriga kolbottnarna i närområdet är efter resmilor som torde vara sentida.

Järnproduktionen: analyser och beräkningar

Volym- och viktberäkning av slagg är en metod som har använts vid undersökningar med varierade resultat. Försök till produktionsberäkning för blästplats L1945:684 i Långskogen gav resultat som spände mellan antingen 2,6–8,1 ton, 5–7 ton eller 13,9–18,7 ton vilket visar på problematiken. Det resultat som man tolkade som mest rimligt var ca 5 ton (Pagoldh 1990:8f). Svårigheterna med produktionsberäkning är ett generellt problem vilket har påtalats av expertis inom området (Grandin, Forenius & Hjärthner-Holdar 2004:28ff; Hjärthner-Holdar, Forenius & Willim 2014:272ff; Grandin & Ogenhall 2017:53ff). Ett översiktligt försök har ändå gjorts att beräkna möjlig mängd producerat järn på blästplatserna i Älvros.

Ovan i redovisningen av undersökningsresultaten har en uppskattning gjorts av slaggvolym. På L1945:9225 har slaggvarpet uppskattats bestå av 4 m³ slagg, och på L2022:10033 av mellan 1,5 och 2,2 m³. Karl-Johan Olofsson (2023b) har inom Jamtlis projekt *Medeltida järnhantering i Härjedalen* gjort försök med produktionsberäkningar av slagg, kol och järn för ett större område med utgångspunkt i matematiska modeller samt kända siffror från ett antal tidigare beräkningsförsök som har gjorts i samband med arkeologiska undersökningar. De siffror han landar i visar att en kubikmeter slagg väger i snitt ett ton, och att relationen i vikt mellan mängden slagg och mängden producerat järn är 0,7–1,1. Alltså skulle fyra ton slagg på L1945:9225 motsvara en produktion av 2,8–4,4 ton järn, och en produktion av minst 1 ton på L2022:10033. Undersökningen av slaggvarpet på L2022:10033 visade att volymberäkningar av slaggvarp är svåra att göra enbart utifrån vad som är synligt ovan dagens marknivå. Vid den ovan nämnda undersökningen av L1946:1106 i Rätans socken visade det sig också att (resterna av) slaggvarpet var upp till 0,54 meter tjocka men varpet var endast synligt som en 0,1 meter hög förhöjning ovan jord (Engman 2017:8f). En volymberäkning av synliga och oskadade delar ger därmed en minsta möjliga slaggmängd på platsen.

Försök att framställa järn i blästerugnar i modern tid har resulterat i 1–2 kilo färdigt ämnesjärn per körning/blåsning, men mängden beror förstås på hur mycket malm som har tillförts. Det

finns historiska källor som omtalar att större mängder malm har använts, vilket har resulterat i omkring fyra kilo ämnesjärn efter smide av luppen (Engman 2023:22). Slaggvolymerna visar därmed att den omfattande produktionen måste motsvara ett stort antal körningar i ugnarna på respektive plats. Väljer man den högsta siffran för järnmängd/körning samt den lägsta siffran för relationen slagg/järn för L1945:9225 – alltså att fyra kilo järn per blåsning har resulterat i en sammanlagd mängd järn på 2,8 ton – innebär det att järnframställning har utförts på platsen 700 gånger! Slår man ut det på en användningstid på 100 år blir siffran genast mindre dramatisk då den landar i sju körningar per år i snitt. Mest troligt är att man har återkommit till platsen ett flertal gånger, men att den inte har varit i bruk årligen under hela den långa tidsperioden. Möjligen nyttjades olika blästplatser vid olika tidpunkter beroende på var man hade kunnat hämta myrsmalm (mer om malmen på platserna nedan). Vad som dock förbryllar är att blästplatserna gav ett så ”rent” intryck, ugnarna måste rimligtvis ha restaurerats ett flertal gånger för att hålla för en så omfattande användning. Inga spår av rester från äldre ugnar i form av sönderspruckna stenar eller ansamlingar kasserad bränd lera framkom vid undersökningarna; möjligen kan dock sådant ha funnits i de delar av slaggvarpen som inte blev undersökta. På L1945:9225 visar ¹⁴C-dateringarna att de äldsta slaggerna är minst 70 år äldre än träramen runt ugnskonstruktionen vilket påvisar en fas av ombyggnation. De ”omvända” dateringarna från slaggvarpet på L2022:10033, och det faktum att delar av varpet möjligtvis låg i en nedgrävning, visar också att saker har hänt på platsen. Analyserna av bränd lerfodring från ugnarna har också visat att det förekom fragment med tjocka förglasade lager som tyder på att ugnarna har använts minst två och sannolikt flera gånger med samma fodring. Det förekom även bitar av bergartsfragment som kan vara avslag från stenarna i schaktväggen och därmed spår av långvarig verksamhet på platsen (Grandin & Stilborg 2024:17ff, se Bilaga 4).

De analyser som har gjorts på slagg, malm, lera och keramiskt material redovisas utförligt i Bilaga 4 (Grandin & Stilborg 2024). Delar av resultaten som gäller ugnarnas konstruktion och drift har berörts i texterna ovan. Övriga frågeställningar som ställdes upp inför analyserna var om det förekom skillnader i processteknik, utvinningsgrad eller malmanvändning, och vilken typ av järn som har tillverkats och vilken kvalitet det hade. Analyser av lerfodring från ugnsschaktens väggar visar att lerklädningen har utgjort ett effektivt skydd mot värmeförlust och att det har varit en väl fungerande reducerande miljö i ugnarna. Inga spår av lagningar påträffades, troligen har man klätt om hela partier av ugnsschaktet vid behov. Lerorna skiljer sig något åt mellan de två blästplatserna, framför allt genom att magring med växt- och eventuellt stenmaterial har använts på L1945:9225, vilket påvisar att leran hämtats från skilda platser men även att det finns en möjlighet att olika grupper/familjer/gårdsenheter med skilda preferenser har brukat de olika platserna (Grandin & Stilborg 2024:23ff). Slaggernas sammansättning tyder på en mycket likartad process på båda platserna genom deras brukningstid. Analyserna av malmproverna som har använts visar att flera olika myrsmalmer har använts på båda platserna, vilket speglar att man har hämtat malm från olika täkter i närområdet. Slaggerna från de sista körningarna av ugnarna innehåller inte samma råvara som den som samlades in från malmlagren. Det järn som har producerats skiljer sig också något åt mellan platserna, men det kan spegla tids- snarare än organisationsmässiga skillnader. Hårt stål förekommer i flera av slaggerna, framför allt från L1945:9225. Där påträffades även gjutjärn, som dock kan ha uppstått som en bieffekt vid ståltillverkning. Slaggerna och järnet från L2022:10033 visar på en produktion av fosforjärn. Vad de slutgiltiga produkterna bestod i är svårt att urläsa ur materialet, möjligen har produktionen inte resulterat i färdigt järn utan i delvis klivna lappar med olika kvalitet i olika delar (Grandin & Stilborg 2024:54ff).

Avslutande kommentarer

Undersökningarna av kolningsanläggning L1945:5135 samt blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033 har besvarat de frågeställningar som hade formulerats inför dem, och bidragit med nya kunskaper kring järnhanteringen i Härjedalen under hög- och senmedeltid. De arkeologiska observationerna från blästplatserna har kompletterats med värdefulla detaljkunskaper om ugnarnas uppbyggnad och funktion genom de arkeometallurgiska och keramiska analyser som har utförts på slagger, leror och malm från ugnar, slaggyvarp och malmlager.

Kolningsanläggningen är av ett något senare datum, och utgör resterna av en liggmila från 1500-talet. Milan har dock med största sannolikhet även den en koppling till järnhanteringen i området, och har försett en mer närliggande blästplats med kol till ugnen.

Diskussionen kring järn- och kolproduktionen på de undersökta platserna, och verksamheternas roll i den regionala utvecklingen och organisationen, kommer att breddas i den vetenskapliga fördjupning i artikelform som ska framställas inom ramen för det arkeologiska uppdraget. Artikeln kommer att publiceras i en antologi om arkeologi och bebyggelsehistoria i Jämtlands län som ska ges ut på Jamtlis förlag under 2025.

Referenser

- Beta analytic. 1990. *Report of radiocarbon dating analyses*. (305) 607-5167. Report date July 3, 1990. Coral Gables, USA.
- Englund, L-E. 2002. *Blästbruk. Myrjärnshanteringens förändringar i ett långtidsperspektiv*. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie nr 40. Stockholm.
- Engman, A. 2017. *Järnframställningsplats i Böle. Arkeologisk undersökning av RAÄ Rätan 30:1. Rätans socken, Bergs kommun, Jämtlands län*. Rapport – Jamtli 2017:20. ISSN 1654-2045. Östersund.
- Engman, A. 2023. *Järnframställning: historik och tillvägagångssätt. Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen*, s. 9–23. Fornvårdaren 42. Östersund.
- Engman, A., Jonsson, K. & Olofsson, K-J. 2018. Milor, blästrar och järn i Härjedalen. *Med hammare och fackla XLVI*, s. 121-130.
- Engman, A. & Olofsson, K-J. 2018. *E45 Rengsjön–Älvros. Arkeologisk utredning, steg 1, i samband med planerad ombyggnation av väg E45 mellan Älvros och Rengsjön*. Rapport – Jamtli 2018:20, ISSN 1654-2045. Östersund.
- Espelund, A. 1999. *Bondejern i Norge. Med kildeskriftet til bonde og lensmann Ole Evenstad fra Stor-Ehvdal, trykt i 1790*. Trondheim.
- Fogelberg, A. 2023. *Datering av blästplatser och kolbottnar 2019. Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen*. Fornvårdaren 42, s. 28–35. Östersund.
- Fornsök*. Riksantikvarieämbetets kulturmiljöregister. [<https://app.raa.se/open/fornsok/>]
- Grandin, L., Forenius, S. & Hjärthner-Holdar, E. 2004. *Järnframställning på Gråfjellet. Arkeometallurgiska analyser. ID 1023573, ID 1023888, Gråfjellområdet, Åmot kommune, Hedmark, Norge*. Geoarkeologiskt laboratorium analysrapport nummer 2-2004. Riksantikvarieämbetet, Avdelningen för arkeologiska undersökningar, UV GAL. Uppsala.
- Grandin, L. & Ogenhall, E. 2017. *Järnframställning i Rätan. Arkeometallurgiska analyser av slagg, järn och malm från en järnframställningsplats i Rätansböle, Jämtlands län, Jämtland, Bergs kommun, Rätans*

- socken, RAÄ 30:1, Böle 1:12, Rätansböle, Dnr 5.1.1-2016-1044. GAL rapport 2017:02, geoarkeologisk undersökning. Arkeologerna. Statens Historiska Museer. Uppsala.*
- Grandin, L. & Stålborg, O. 2024. *Järnframställning i Älvros. Analyser av teknisk keramik, malm, slagg och järn från två blästplatser. Härjedalen, Älvros socken, L1945:9225 och L2022:10033. Arkeologerna, Statens historiska museer, Analysrapport 2024:01. Uppsala.*
- Hansson, A. 1998. *Rapport över arkeologisk undersökning av järnframställningsplats, fornlämning 47, Överbogdal 20:12, Överbogdals socken, Härjedalens kommun, Jämtlands län. Arkeologiska undersökningar utförda av Jämtlands län museum. Östersund.*
- Hennius, A. 2019. *Spår av kolning. Arkeologiskt kunskapsunderlag och forskningsöversikt. Riksantikvarieämbetet, FoU-rapport. Stockholm.*
- Hjärthner-Holdar, E., Forenius, S. & Willim, A. 2014. A Roman Iron Age bloomery site in Gästrikland, Sweden. Evidence of a widespread trade? *Early Iron in Europe* (red. B. Cech & Th. Rehren). *Monographies instrumentum* 50, s. 261–276. Montagnac.
- Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L. & Forenius, S. 2013. Blästbruk—finns det en systematik mellan tid, rum och typ? *Ovnstypologi og ovnskronologi i den Nordiske jernvinna. Jernvinna i Oppland. Symposium på Kittilbu, 16.-18. Juni 2009* (red. B. Rundberget, J. H. Larsen & T. H. Borse Haraldsen), s. 24–38. Kulturhistorisk museum. Oslo.
- Jonsson, K. 2023. Järnhantering och bebyggelseutveckling. *Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen. Fornvårdaren* 42, s. 36–55. Östersund.
- Jonsson, K. & Olofsson, K.-J. (red.). 2023. *Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen. Fornvårdaren* 42. Östersund.
- Lööv, L. I. & Rahm, A. 2017. *Liggmilan på Bäckedal. Arkeologisk undersökning av fornlämning RAÄ Sveg 914. Ulvkälla 5:1, Sveg sn, Härjedalens kommun, Jämtlands län. Rapport – Jamtli 2017:7, ISSN 1654-2045. Östersund.*
- Magnusson, G. 1986. *Lågteknisk järnhantering i Jämtlands län. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie N:r 22. Stockholm.*
- Olofsson, K.-J. 2015. *2014 års fornminnesinventering i Jämtlands län. Härjedalens kommun. Rapport – Jamtli 2015:7, ISSN 1654-2045. Östersund.*
- Olofsson, K.-J. 2016. *2015 års fornminnesinventering i Jämtlands län. Härjedalens kommun. Rapport – Jamtli 2016:9, ISSN 1654-2045. Östersund.*
- Olofsson, K.-J. 2017. *2016 års fornminnesinventering i Jämtlands län. Härjedalens kommun. Rapport – Jamtli 2017:6, ISSN 1654-2045. Östersund.*
- Olofsson, K.-J. 2023a. Antikvarisk bedömning av liggmilor. *Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen. Fornvårdaren* 42, s. 24–27. Östersund.
- Olofsson, K.-J. 2023b. Järnproduktion i trakterna kring Sveg och Älvros. *Sotdalarna. En bok om järnframställning i Härjedalen. Fornvårdaren* 42, s. 57–73. Östersund.
- Pagoldh, M. 1990. *Rapport över arkeologisk undersökning av järnframställningsplatser och liggmilor, fornl nr 75–81, Långskogen, Kyrkebryn 1:3, Älvros sn, Härjedalens kn, Jämtland. Arkeologiska undersökningar utförda av Jämtlands läns museum. Östersund.*

Administrativa uppgifter

Länstyrelsens diarienummer:	431-9045-2022, 431-4424-2023
Jamtis diarienummer:	1-2023-F5CC
Undersökningstid:	12–13/6, 14–23/8 2023
Personal:	Förundersökningar: Kristina Jonsson (projektledare), Annabell Fogelberg (arkeolog) Undersökningar: Kristina Jonsson (projektledare), Anders Hansson (bitr. projektledare), Frida Dahl (praktikant)
Undersökt yta:	L1945:5135: 220 m ² L1945:9225: 340 m ² L2022:10033: 215 m ²
Läge och koordinater:	L1945:5135: X 6876618, Y 479920 L1945:9225: X 6876515, Y 479185 L2022:10033: X 6876364, Y 479388
Koordinatsystem:	Sweref 99TM
Höjdsystem:	RH2000
Dokumentationsmaterial:	Sektionsritningar, digitala fotografier och GIS-data förvaras i Jamtlis arkiv.
Fynd:	-

Bilagor

Bilaga 1. Kontexttabeller

Kolbotten L1945:5135

Kontext	Typ	Storlek (m)	Tjocklek/ djup (m)	Beskrivning
104	Lager	7,5×3,5	0,05–0,1	Kollager i botten av milan.
121	Lager	1,2–3,8 m br	0,2–0,4	Vall runt mila.
141	Nedgrävning	0,3–0,6 m br	0,2–0,3	Ränna runt V, S och Ö sidor av kolmila.
178	Lager	7×10	0,01–0,05	Arbetsyta med kol och sot N om mila.
311	Trä	0,9×0,15	0,03–0,05	Rest av stock i V del av ränna A141.
318	Trä	1,2×0,2	0,03–0,05	Rest av stock i Ö del av kollager A104.

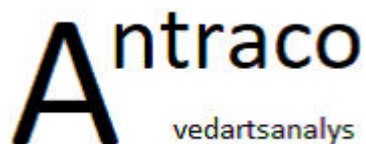
Blästplats L1945:9225

Kontext	Typ	Storlek (m)	Tjocklek/ djup (m)	Beskrivning
180	Sten	1,8×1,3	0,6	Stenar i ugnskonstruktion, 0,1–0,6 m st rundade naturstenar lagda i 1–2 skift runt ugnsschakt bestående av stående hållar i storlek 0,3×0,3–0,5×0,5 m.
230	Lager	1,0–4,0×5,4–4,0	0,01–0,07	Rödbrun rostad malm. Rund fläck 4 m i diam, med en 1,0×1,5 m st utlöpare fram till ugnen.
245	Slagg	6,5×6,0	0,7	Slaggvarp bestående i huvudsak av slaggstycken i olika storlek. Inslag av kol, bränd lera och sand.
284	Trä	1,35×0,15	0,005	Rest av ram av stående trä.
289	Nedgrävning	2,1×2,5	0,5	Nedgrävning för ugn.
315	Lager	0,5–0,6 m br	0,3–0,4	Gulbrun sand. Fyllning i träram runt ugn.
343	Trä	0,4×0,2	0,02	Rest av liggande stock.
347	Sänka	1,5×1,4	0,05	Sänka i terrängen utanför ugn, plats för bälg.
357	Lager	0,75×0,35	0,15 0,2	Övre fyllning i ugn. Rödbrun grusig sand, inslag av kol, bränd lera (ugnsfodring) och slagg.
366	Lager	0,6×0,3	0,1	Nedre fyllning i ugn. Kol, grus, sand, inslag av slagg mot botten.
378	Lager	0,45×0,2	0,005	Ugnsbotten. Rödbränd sotig sand.
387	Sten	0,3×0,25	0,1	Del av fällsten, har ursprungligen varit del av A395.
395	Sten	0,6×0,5	0,25	Fällsten.
405	Slagg	2,8×2,3	0,15	Slagg vid fällsten.
434	Trä	0,9×0,15	0,005	Rest av ram av stående trä.

Blästplats L2022:10033

Kontext	Typ	Storlek (m)	Tjocklek/ djup (m)	Beskrivning
449	Lager	4,0×2,5	0,01-0,03	Rödbrun rostad malm.
463	Lager	0,1–0,5 m br	0,3–0,5	Orangebrun sand, värmepåverkad in mot ugnskonstruktionen. Fyllning i träram runt ugn.
489	Sten	2,0×1,5	0,5	Stenar i ugnskonstruktion. 0,1–0,55 m st rundade naturstenar lagda i 1–2 skift runt ugnsschakt bestående av stående hållar i storlek 0,4×0,4–0,5×0,5 m.
529	Sten	2,5×1,7	0,7	Fällsten, markfast håll.
546	Slagg	2,52,5×1,7	0,01–0,1	Slagg på och bredvid fällsten.
564	Slagg	6,25×4,5	0,5–0,7	Slaggvarp bestående i huvudsak av slaggstycken i olika storlek och kol, med inslag av sand.
634	Slagg	1,1×0,4	0,01–0,05	Slagg vid fällsten.
646	Lager	0,8×0,7	0,2–0,25	Övre fyllning i ugn. Orangebrun sand med småsten. Inslag av slagg i övre delen, sekundärt ditkommen vid igenfyllning. I botten av lagret bitar av bränd lera (ugnsfodring).
655	Lager	0,5×0,4	0,1–0,2	Kollager i ugn. Inslag av slagg och bränd lera.
667	Trä	1,8+3,8×0,15	0,005	Rest av ram av stående trä. Endast kol- och sotrester mot sandlager 463.
672	Lager	0,4×0,3	0,02	Ugnsbotten. Rödbränd sotig sand.
731	Nedgrävning	-	0,5	Nedgrävning för ugn. Endast synlig i schakt genom sandlager 463.
733	Lager	0,75×0,4	0,005	Hårdpackad lera utanför ugn, plats för bälg.

Bilaga 2. Vedartsanalyser

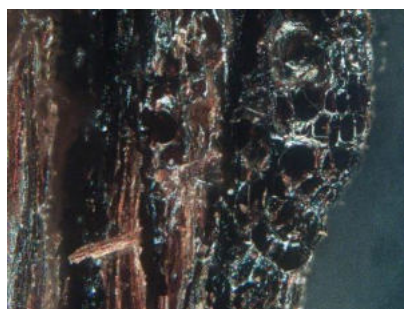


ProjektId 2500

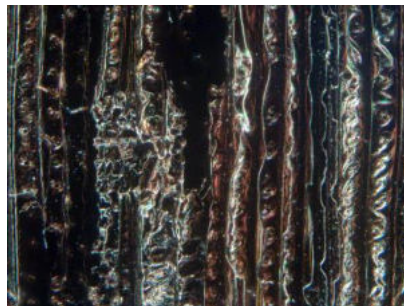
Härjedalen, Härjedalens kommun, Älvros socken, Älvros Kyrkby 43:1, L1945:5135 (Älvros 443), Kolningsanläggning

De tre proverna är hämtade från kolbottnar inom fornlämningen. Prov 1 och 2 var till del dåligt genomkolade. Prov 3 var däremot en blandning av träkol från välvuxen stam, rötad gren/stam samt bränd markvegetation med inslag av jord. För datering valdes i prov 1 delvis förkolnad bark, Prov 2 dateras med yttre årsringar med ett tunt lager av innerbark och prov 3 med väl bränt träkol från Grov gren. Egenåldern för proverna 1 och 2 bedöms vara låg. Prov 3 är däremot svårbedömd. Sannolikt närmare eller över 30 år.

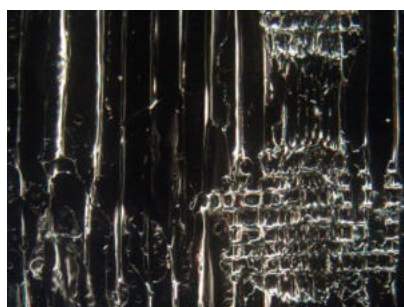
	Vikt (g)	Analyserad vikt (g)	Fragment	Analyserat antal	Bark	Tall
A318, P1	16,4	10,0	Över 100	35	5	30
A311, P2	8,9	8,9	14	14		14
A104, P3	13,2	10,0	Över 100	30		30



Kolbotten, A318, Prov 1



Kolbotten, A311, Prov 2



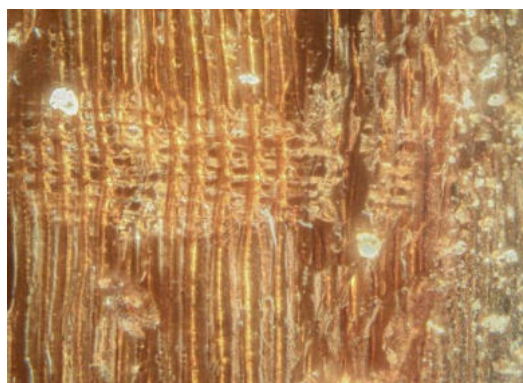
Kolbotten, A104, P3

ProjektId 2720

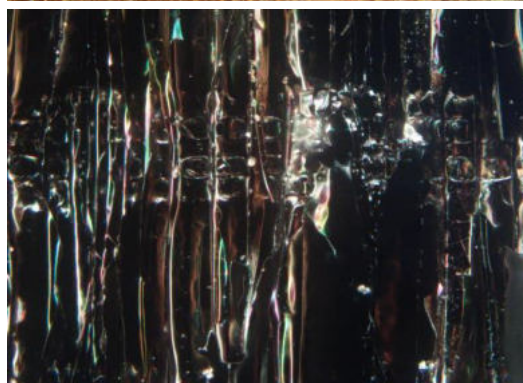
Härjedalen, Härjedalens kommun, Älvros socken, Älvros Kyrkby 9:4, L1945:9225 (Älvros 819), Blästplats

De fyra proverna är hämtade från ramverket vid en blästugn (A434), en ugsnbotten (A366) samt en slaggharp (A245) inom fornlämningen. Prov 4 var från lätt nedbrutet trä av furu. Egenåldern är inte möjlig att bedöma. Veden genomkorsas av rottrådar. Träkolet i prov 5 var uppblandat med jord och obrända rottrådar. Veden var från uppvuxen stam. Proverna 6 och 7 kommer från träkol i slagg. Det förstnämnda provet var rent och fritt från växtdelar. Cellväggarna i sin tur var överdragna av en iriserande beläggning. Prov 7 slutligen var från en torrkvist som delvis blivit innesluten i stammen. Egenåldern på de fyra proverna är svår att avgöra. Troligen överstiger den 30 år.

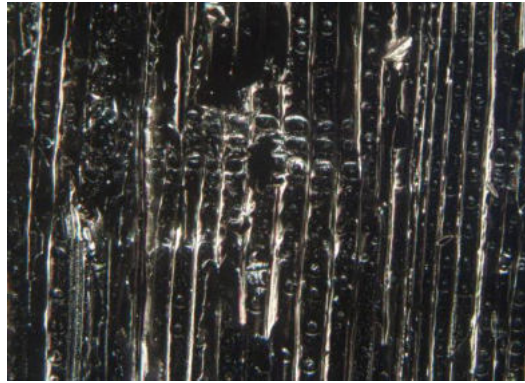
	Vikt (g)	Analyserad vikt (g)	Fragment	Analyserat antal	Tall
A434, P4	0,9	0,9	4	4	4
A366, P5	0,3	0,3	13	13	13
A245, P6	0,3	0,3	5	5	5
A245, P7	1,8	1,8	3	3	3



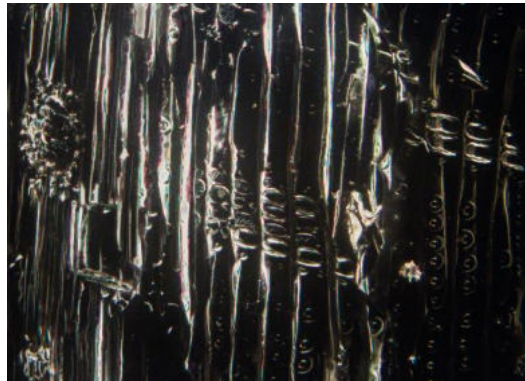
Blästugn, A434,
Prov 4



Ugsnbotten,
A366, Prov 5



Slaggvarp, A245
Prov 6



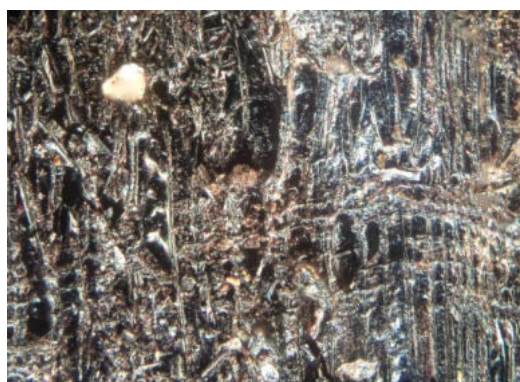
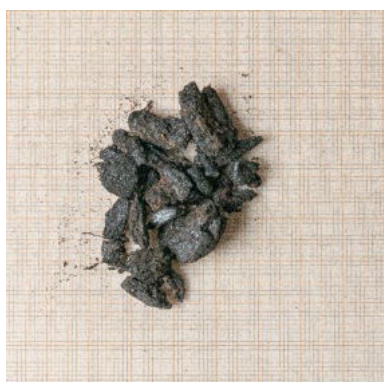
Slaggvarp,
A245, Prov 7

ProjektId 2721

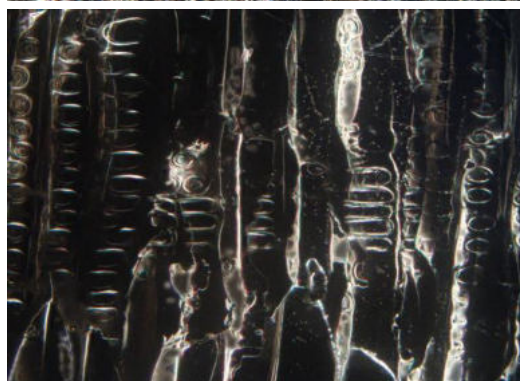
Hälsingland, Hälsinglands kommun, Älvros socken Älvros Kyrkby 9:4, L2022:10033, Blästbrukslämning

De fyra proverna är hämtade från ramverket vid en blästugn (A667), en ugsbotten (A672) samt en slaggharp (A564) inom fornlämningen. Prov 8 utgjordes av lättfragmenterat träkol. Fragmenten var inbäddade i en tjock matta av mossa och rotfilt. Träkolet i sig kommer från kraftigt nedbruten tall. Prov 9 var från två torrkvistar, sannolikt inneslutna i stam. De två proverna från A564 från ett ensamt kolstycke (Prov 10) som liksom föregående sannolikt varit inneslutet i stammen. Träkolet var hårt bränt och delvis upplöst. Prov 11 slutligen kom från lättfragmenterat träkol. I detta fall från kraftigt nedbruten stam. Egenåldern på proverna i denna serie är troligen högre än de från föregående. Den rötade veden i synnerhet.

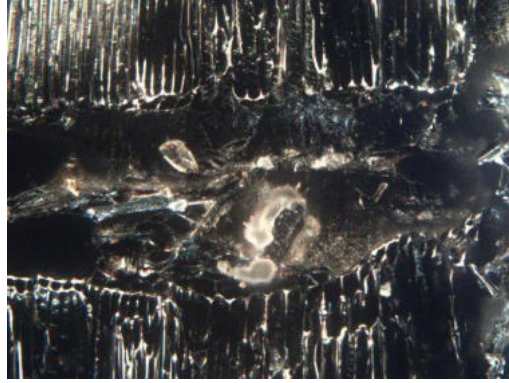
	Vikt (g)	Analyserad vikt (g)	Fragment	Analyserat antal	Tall
A667, P8	1,7	1,3	Över 30	16	16
A672, P9	14,9	14,9	2	2	2
A564, P10	1,7	1,7	1	1	1
A564, P11	1,6	1,6	11	11	11



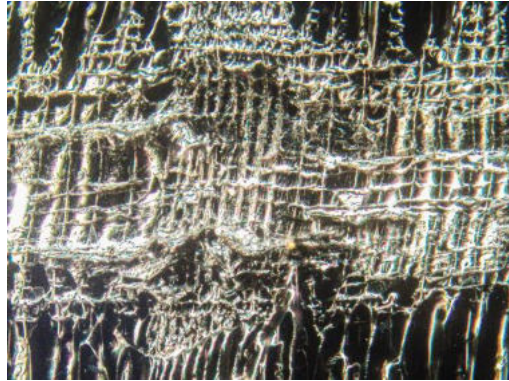
Blästugn, A667,
Prov 8



Ugsbotten,
A672, Prov 9



Slaggvarp, A564,
Prov 10



Slaggvarp. A564,
Prov 11



UPPSALA
UNIVERSITET

Ångströmlaboratoriet
Tandemlaboratoriet

Kol-14 gruppen

Besöksadress:
Ångström Laboratoriet
Lägerhyddsvägen 1

Postadress:
Box 529
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 3124

Hemsida:
<http://www.tandemlab.uu.se>

E-post:
radiocarbon@physics.uu.se

Kristina Jonsson
Jamtli
Box 709
831 28 ÖSTERSUND

Resultat av ^{14}C datering av trä och träkol från Älvros, Härjedalen, Jämtland. (p 5481)

Förbehandling av trä:

1. Synliga rottrådar borttages.
2. 1 % HCl tillsätts (10 h, under kokpunkten) (karbonat bort).
3. 1 % NaOH tillsätts (10 h, under kokpunkten). Löslig fraktion fälls genom tillsättning av konc. HCl. Fällningen som till största delen består av humusmaterial, tvättas, torkas och benämns fraktion SOL. Olöslig del, som benämns INS, består främst av det ursprungliga organiska materialet. Denna fraktion ger därför den mest relevanta åldern. Fraktionen SOL däremot ger information om eventuella föroreningars inverkan.

Före mätningen av ^{14}C -innehållet i acceleratoren förbränns det tvättade och intorkade materialet, surgjort till pH 3, till CO_2 -gas som i sin tur grafiteras genom en Fe-katalytisk reaktion. I den aktuella undersökningen har fraktionen INS daterats.

Förbehandling av träkol:

1. Synliga rottrådar borttages.
2. 1 % HCl tillsätts (10 h, under kokpunkten) (karbonat bort).
3. 1 % NaOH tillsätts (10 h, under kokpunkten). Löslig fraktion fälls genom tillsättning av konc. HCl. Fällningen som till största delen består av humusmaterial, tvättas, torkas och benämns fraktion SOL. Olöslig del, som benämns INS, består främst av det ursprungliga organiska materialet. Denna fraktion ger därför den mest relevanta åldern. Fraktionen SOL däremot ger information om eventuella föroreningars inverkan.

Före mätningen av ^{14}C -innehållet i acceleratoren förbränns det tvättade och intorkade materialet, surgjort till pH 3, till CO_2 -gas som i sin tur grafiteras genom en Fe-katalytisk reaktion. I den aktuella undersökningen har fraktionen INS daterats.

RESULTAT

Labnummer	Prov	$\delta^{13}\text{C}\%$ V-PDB	^{14}C ålder BP
trä			
Ua-80420	L1945:5135 A318 P1	-26,1	275 ± 29
Ua-80421	L1945:9225 A434 P4	-27,2	550 ± 29
träkol			
Ua-80424	L1945:5135 A311 P2	-25,6	298 ± 30
Ua-80428	L1945:5135 A104 P3	-27,8	362 ± 29
Ua-80438	L1945:9225 P5	-26,4	370 ± 29
Ua-80439	L1945:9225 A245 P6	-27,5	386 ± 29
Ua-80440	L1945:9225 A245 P7	-27,3	680 ± 29
Ua-80441	L2022:10033 A667 P8	-27,1	568 ± 29
Ua-80442	L2022:10033 A672 P9	-26,6	455 ± 29
Ua-80443	L2022:10033 A564 P10	-27,1	635 ± 30
Ua-80444	L2022:10033 A564 P11	-26,8	372 ± 29

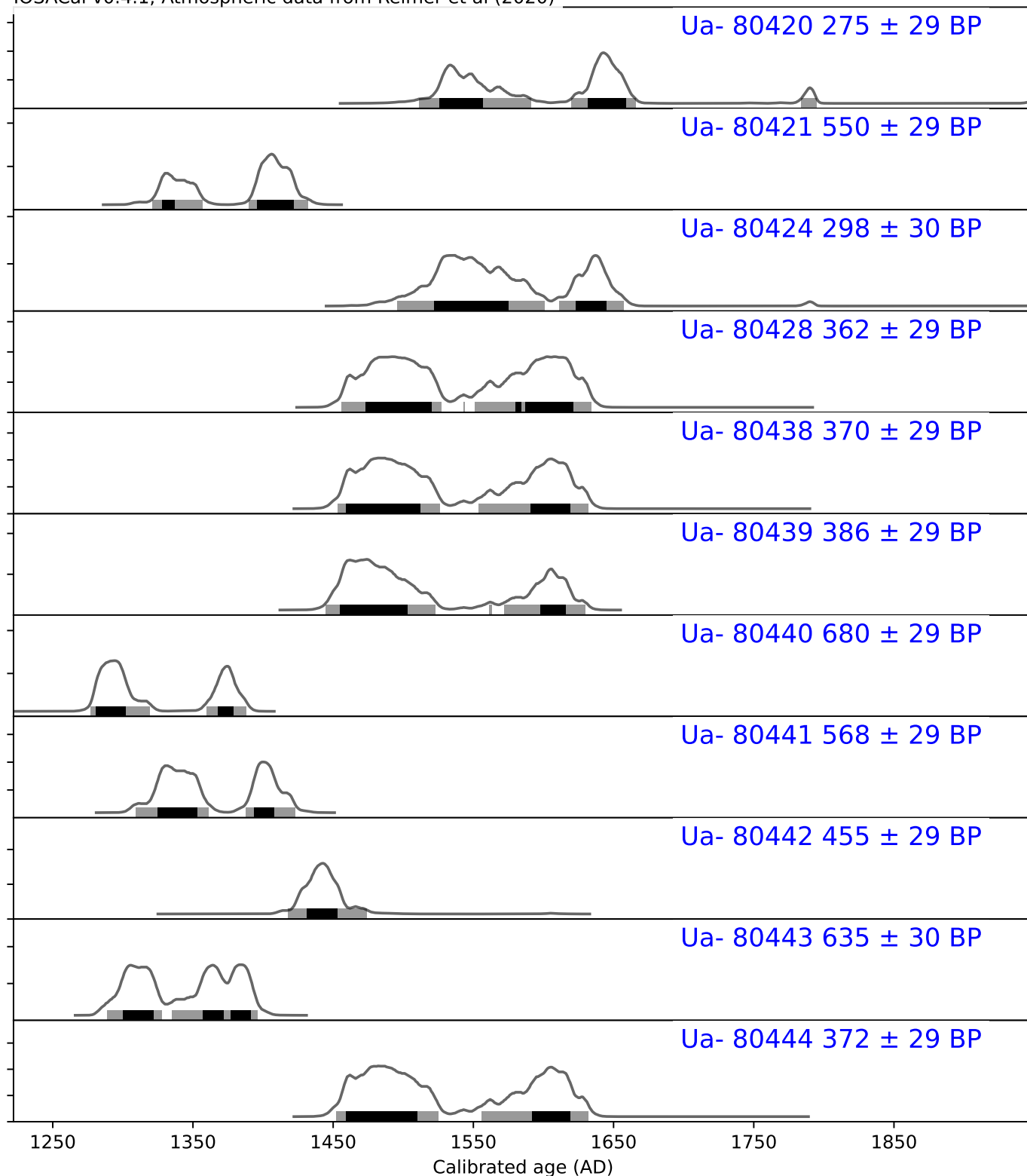
Med vänliga hälsningar

Maximilian Maximilian Schmidt
2023.11.07
Schmidt 09:28:45 +01'00'

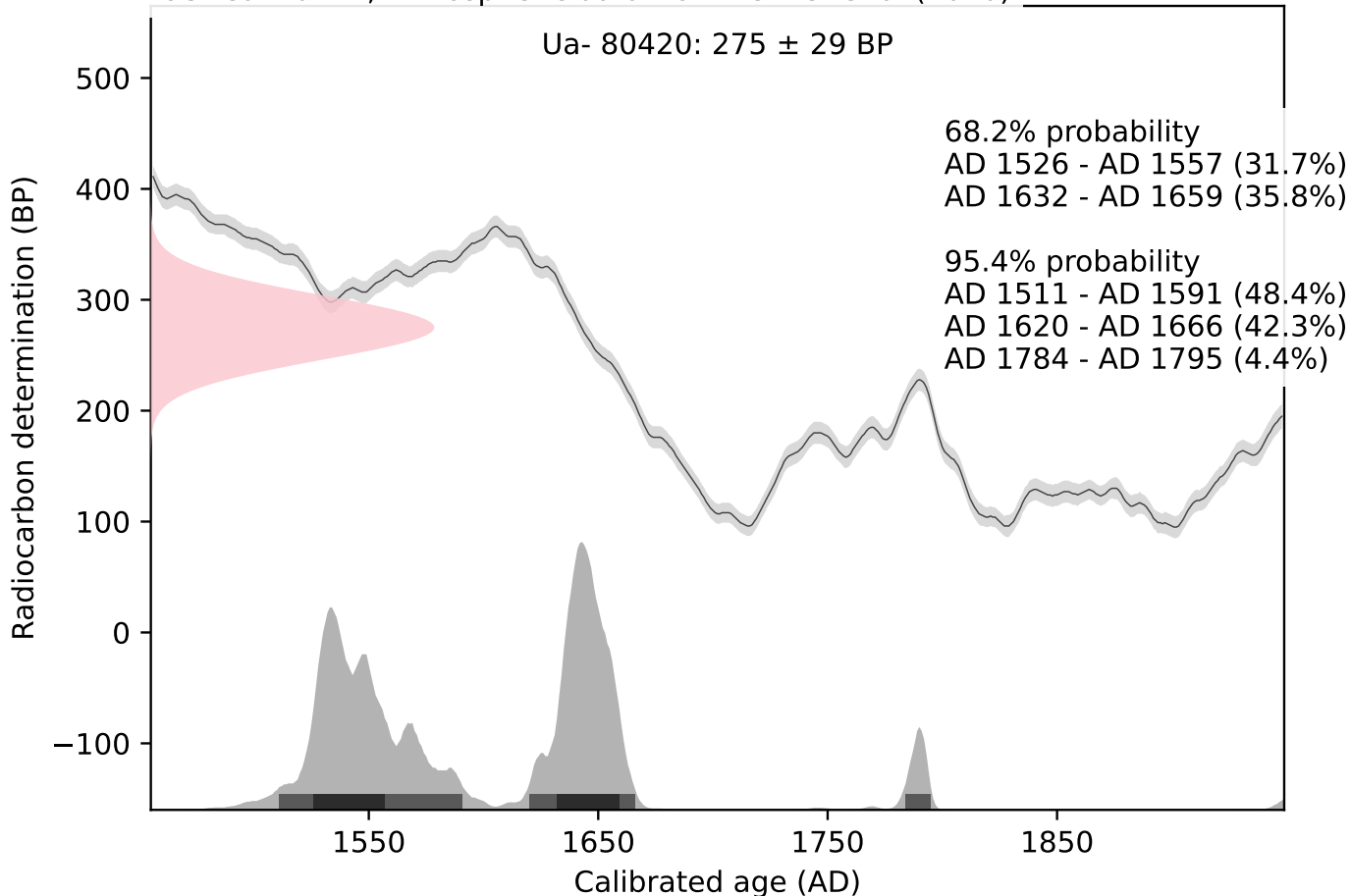
Maximilian Schmidt/Daniel Primetzhofer

Kalibreringskurvor

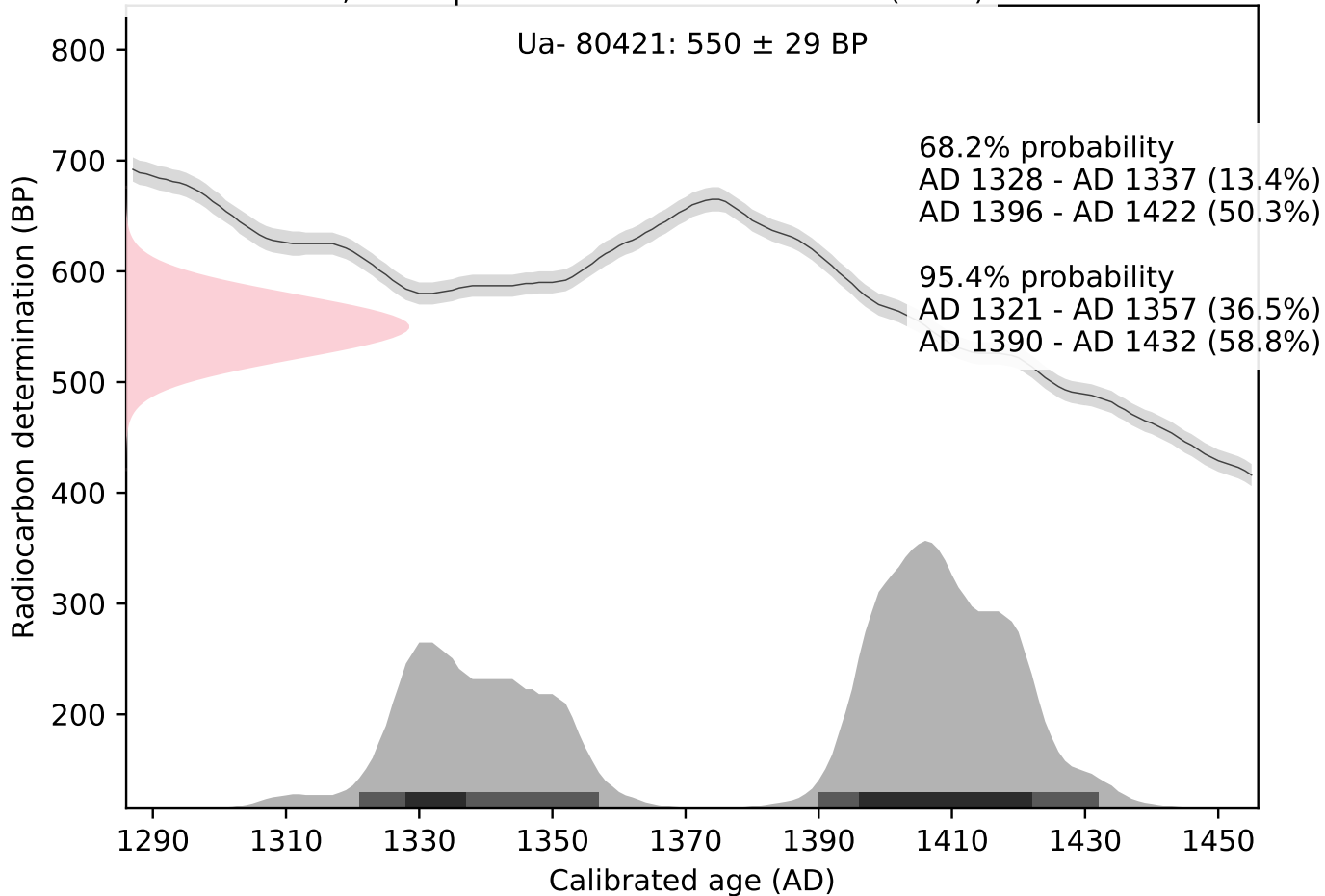
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



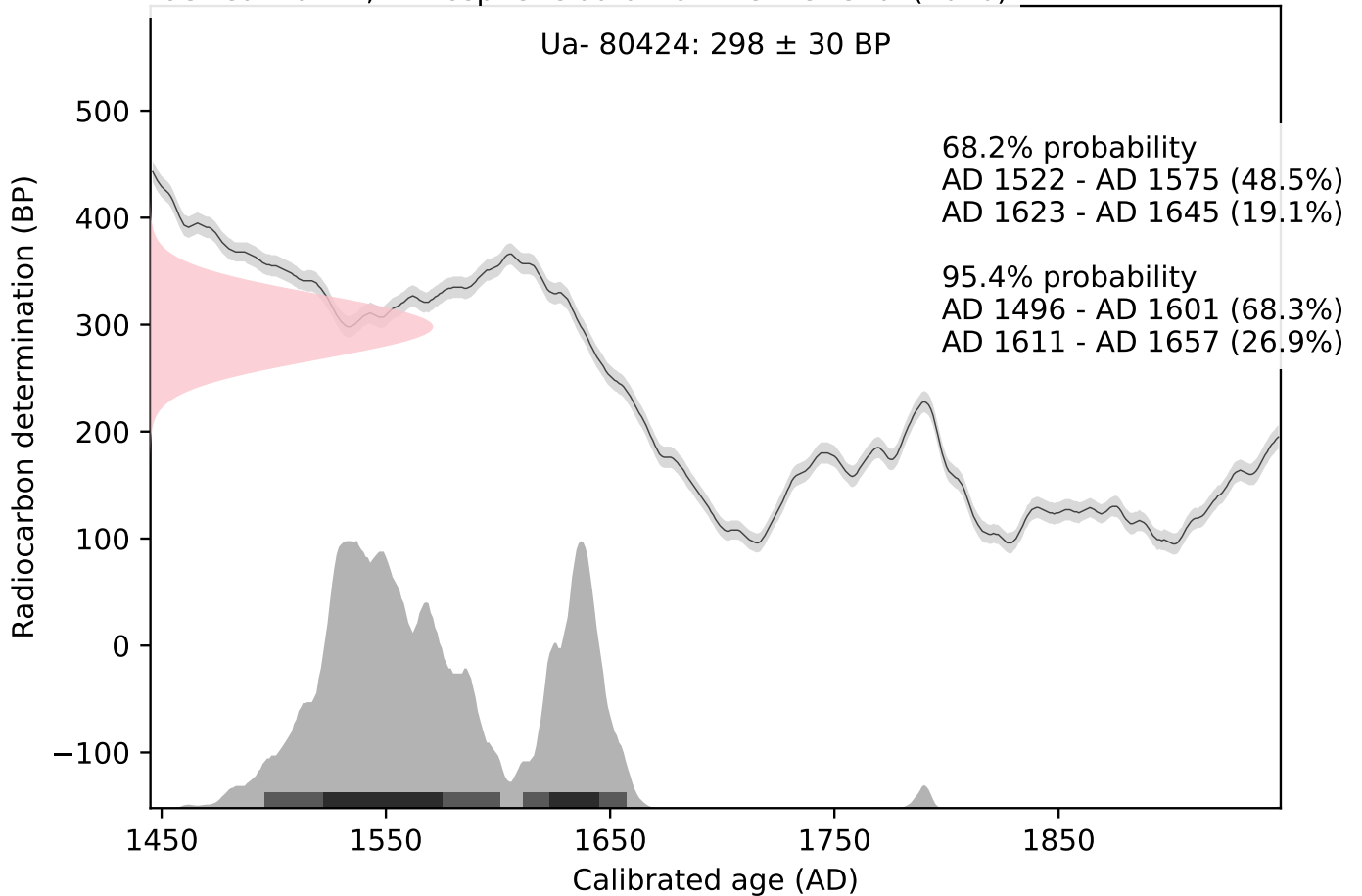
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



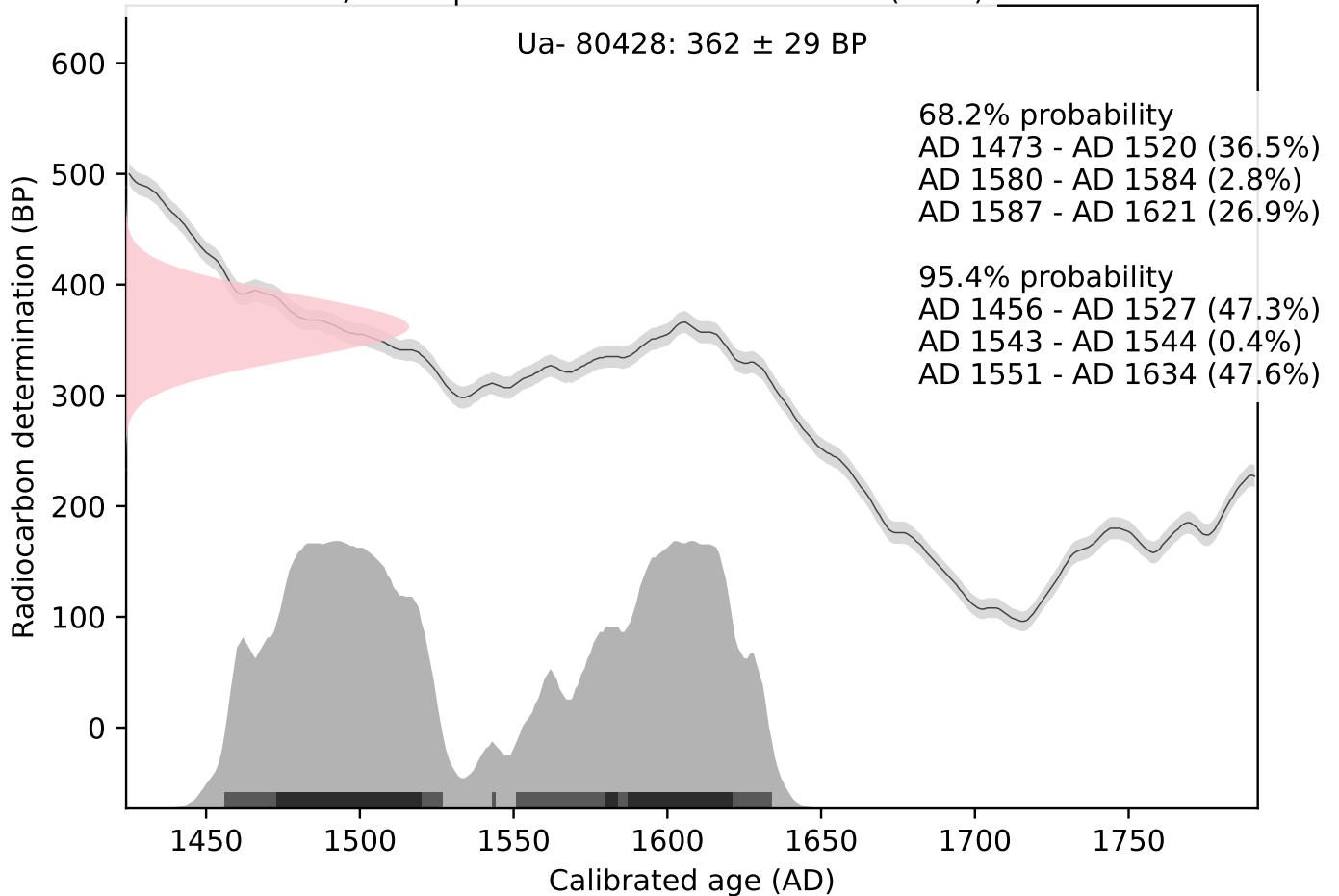
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



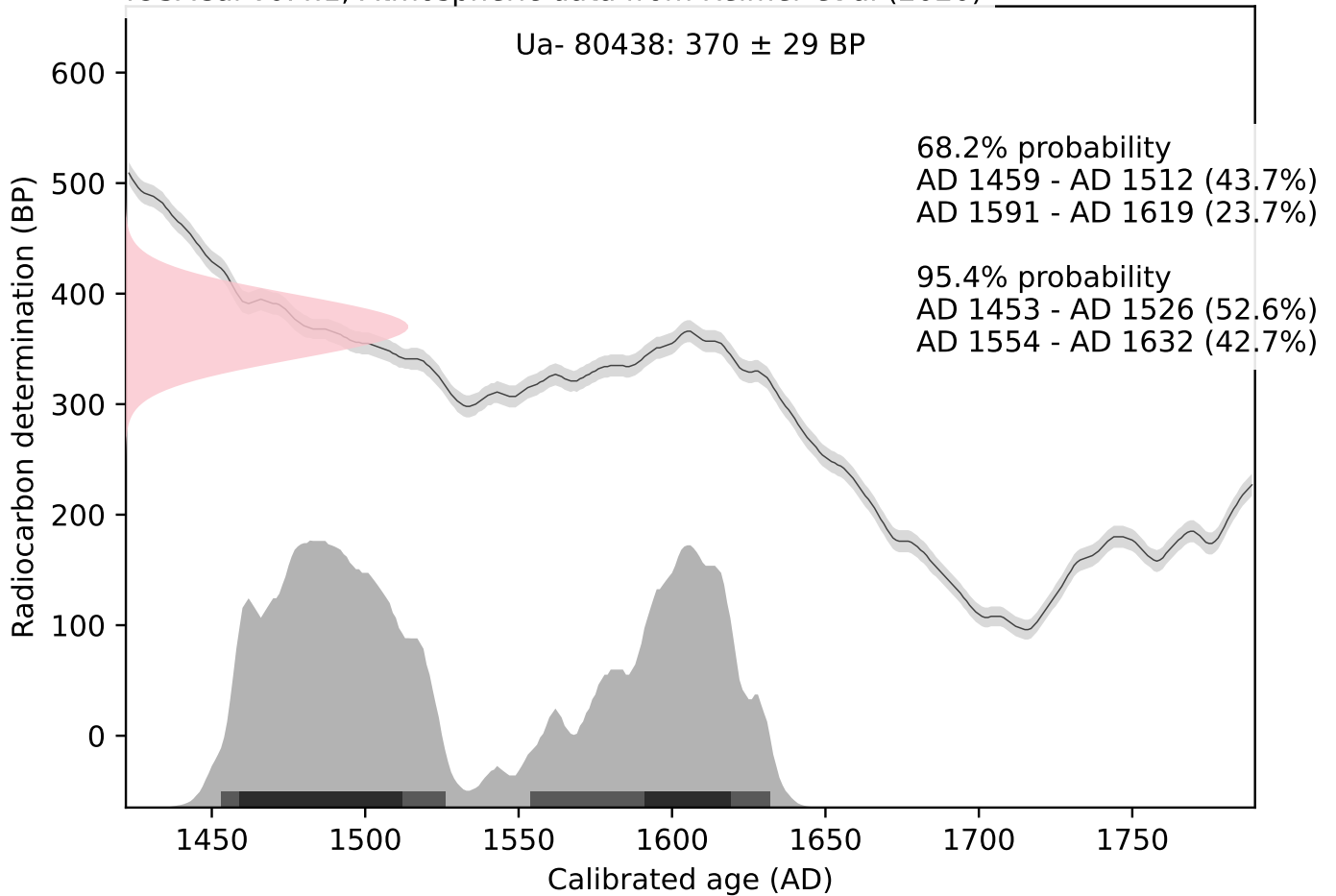
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



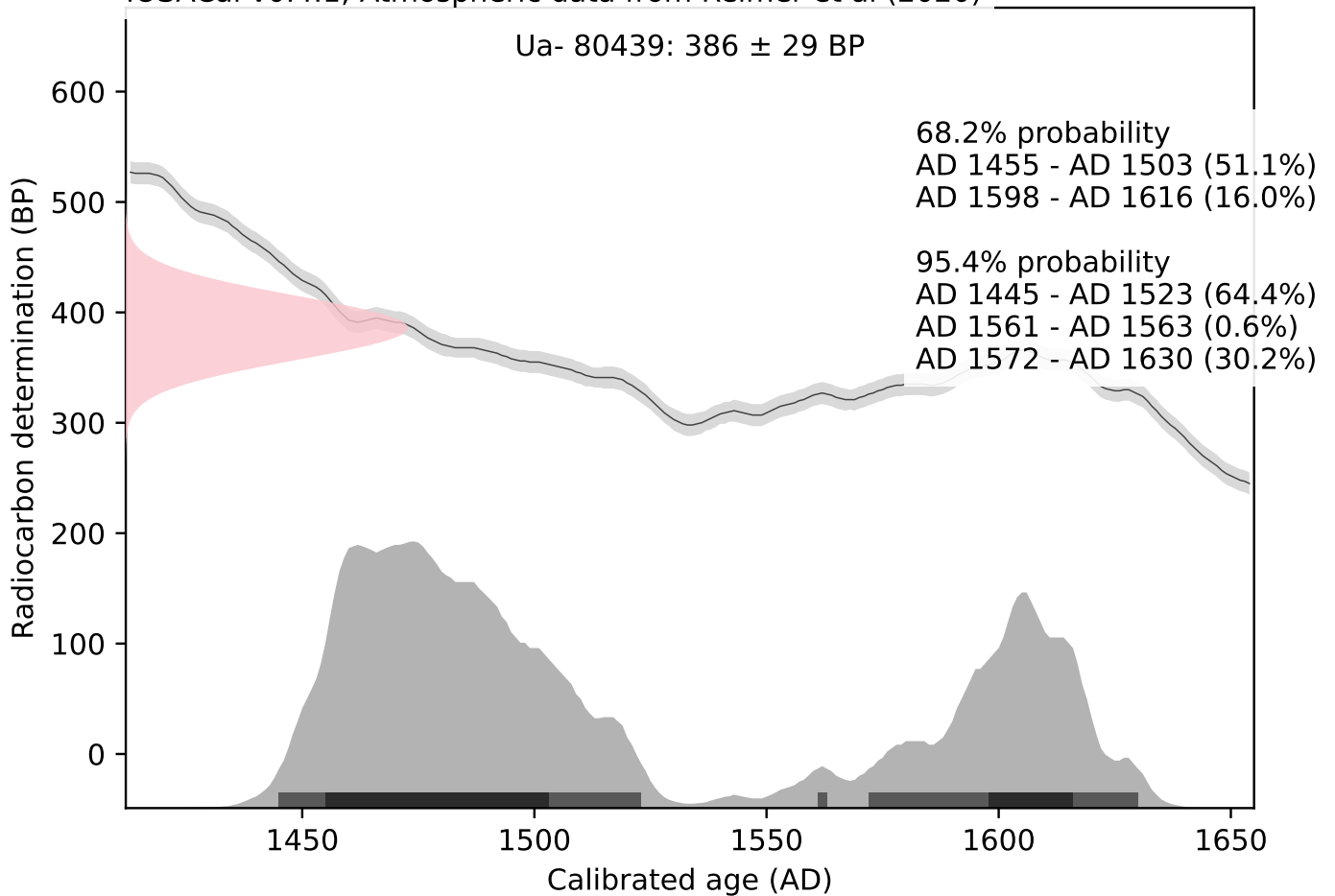
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



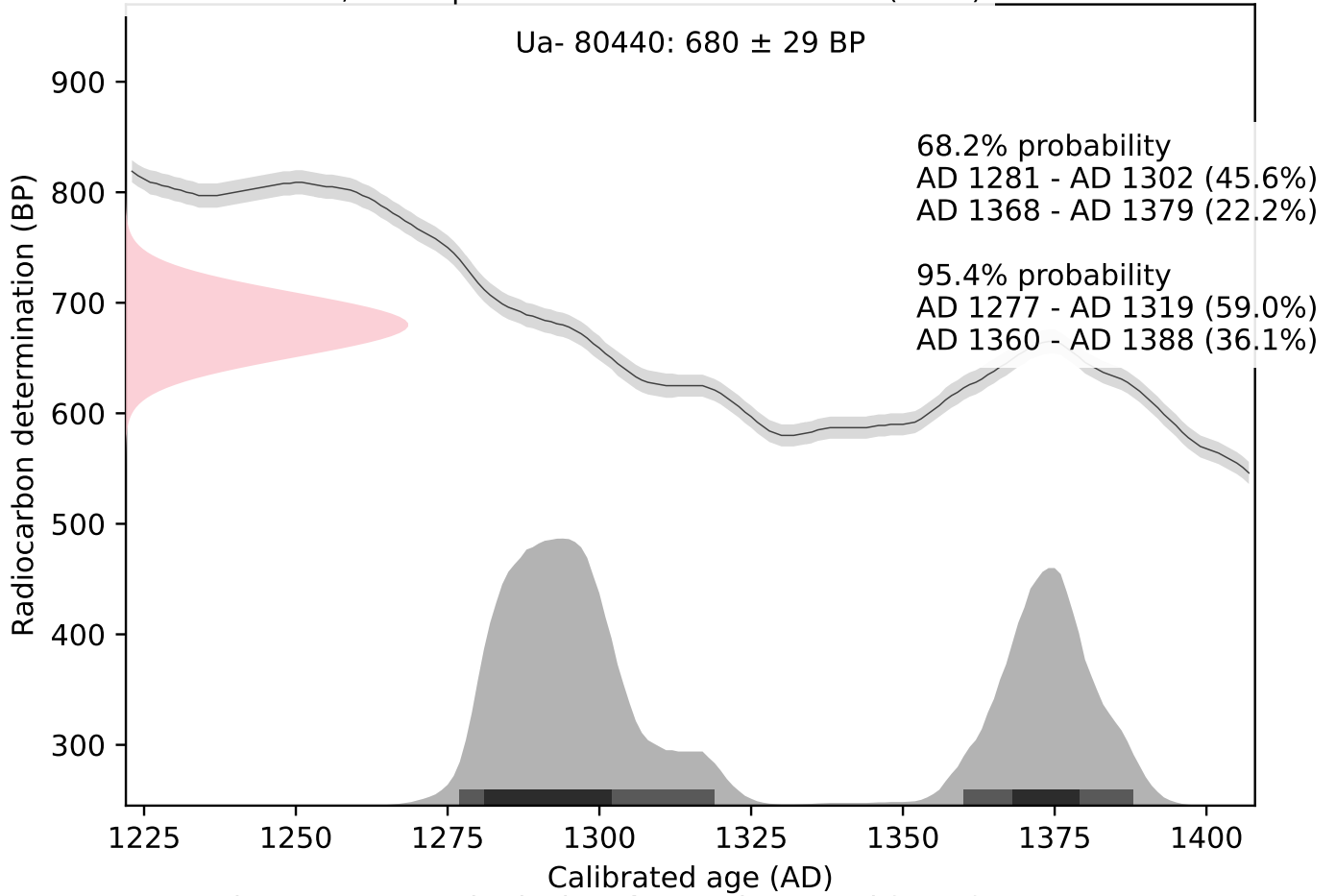
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



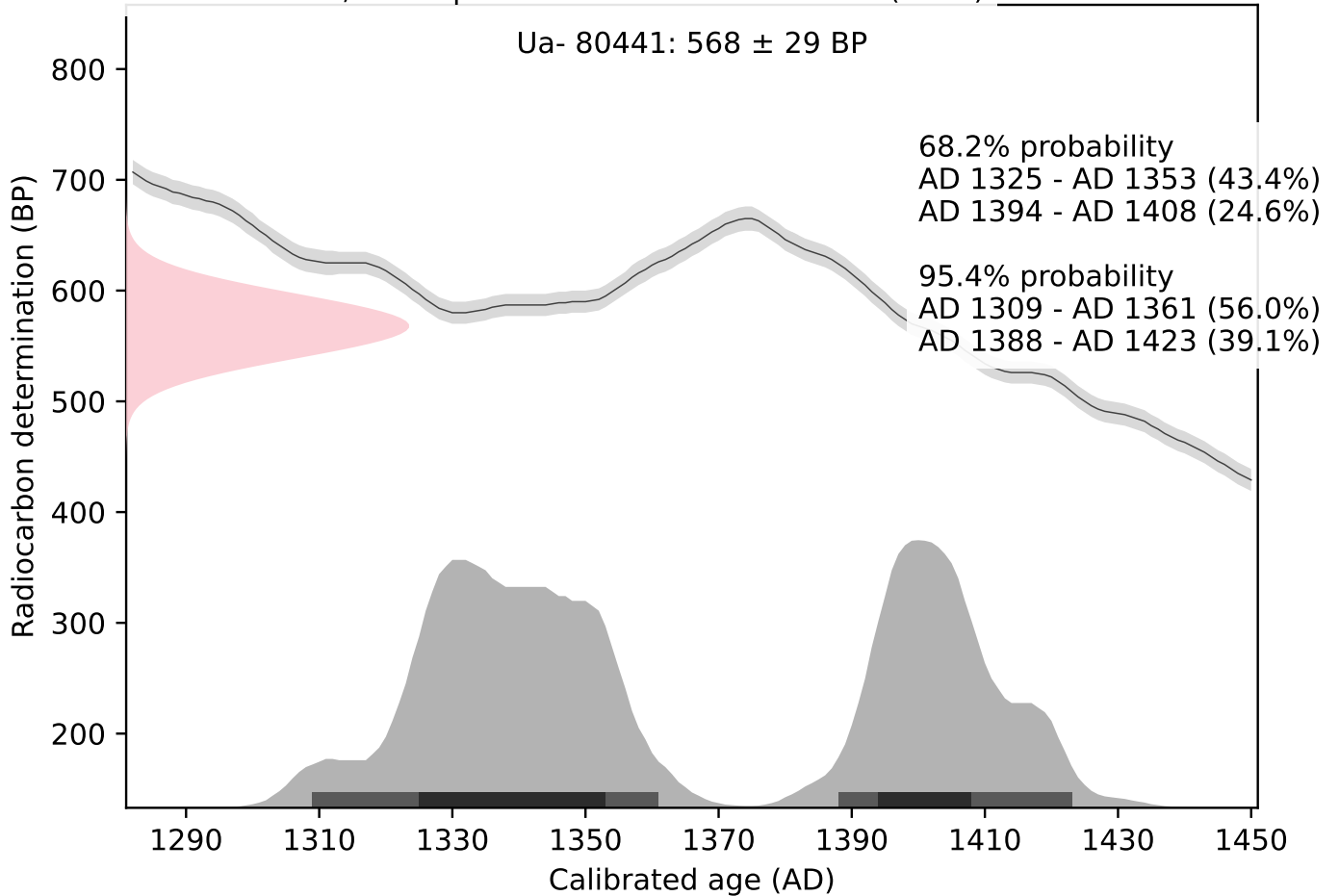
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



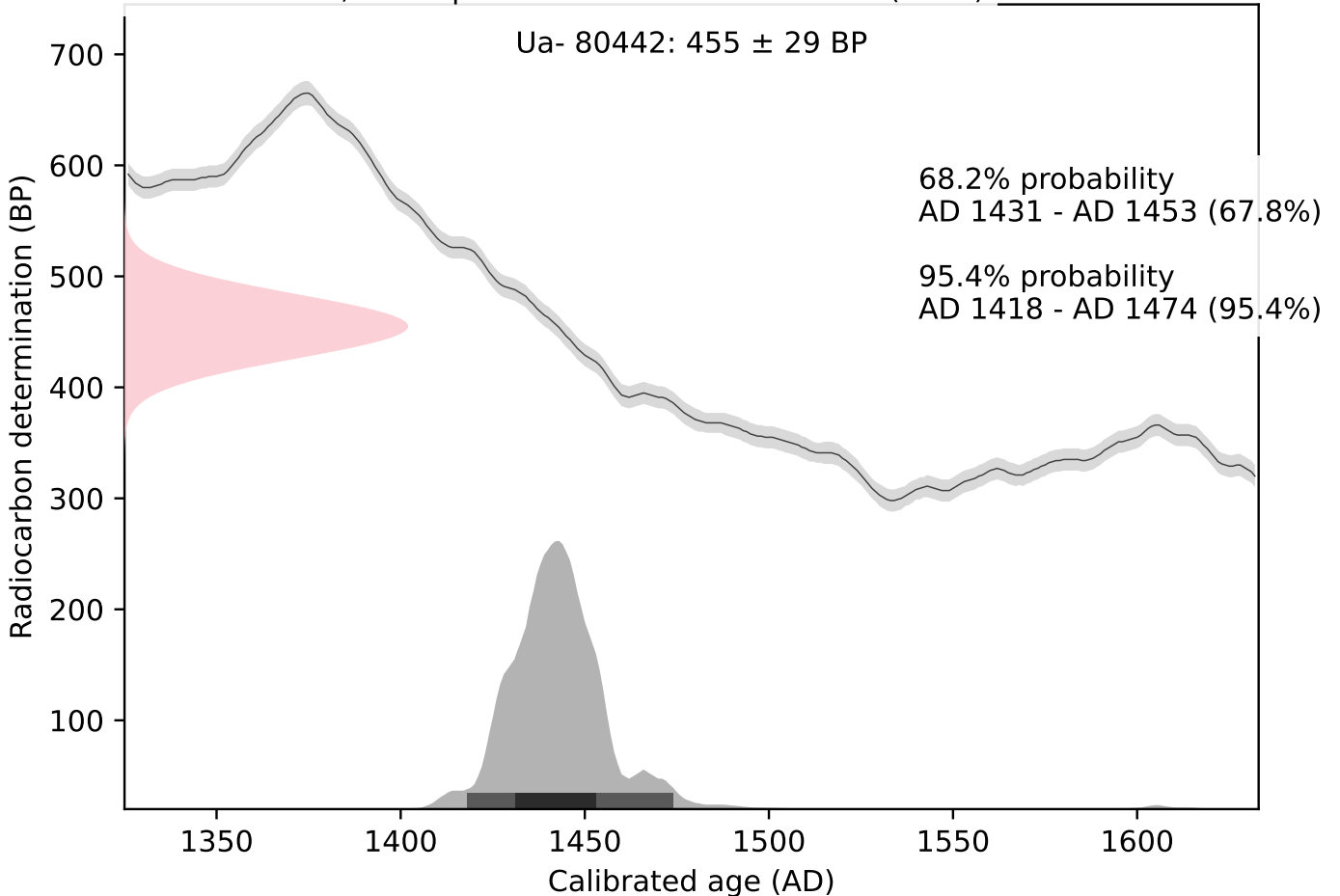
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



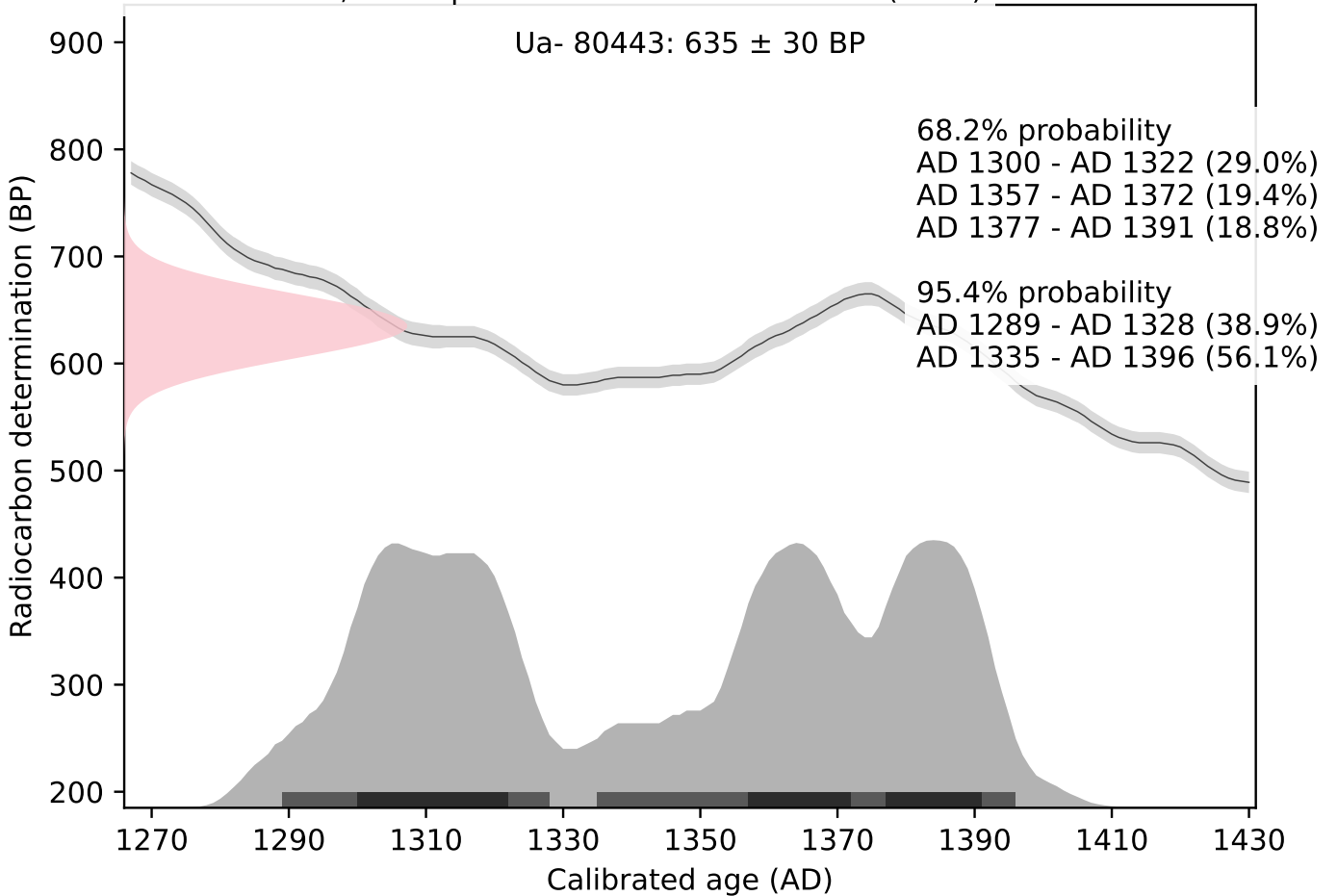
IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)

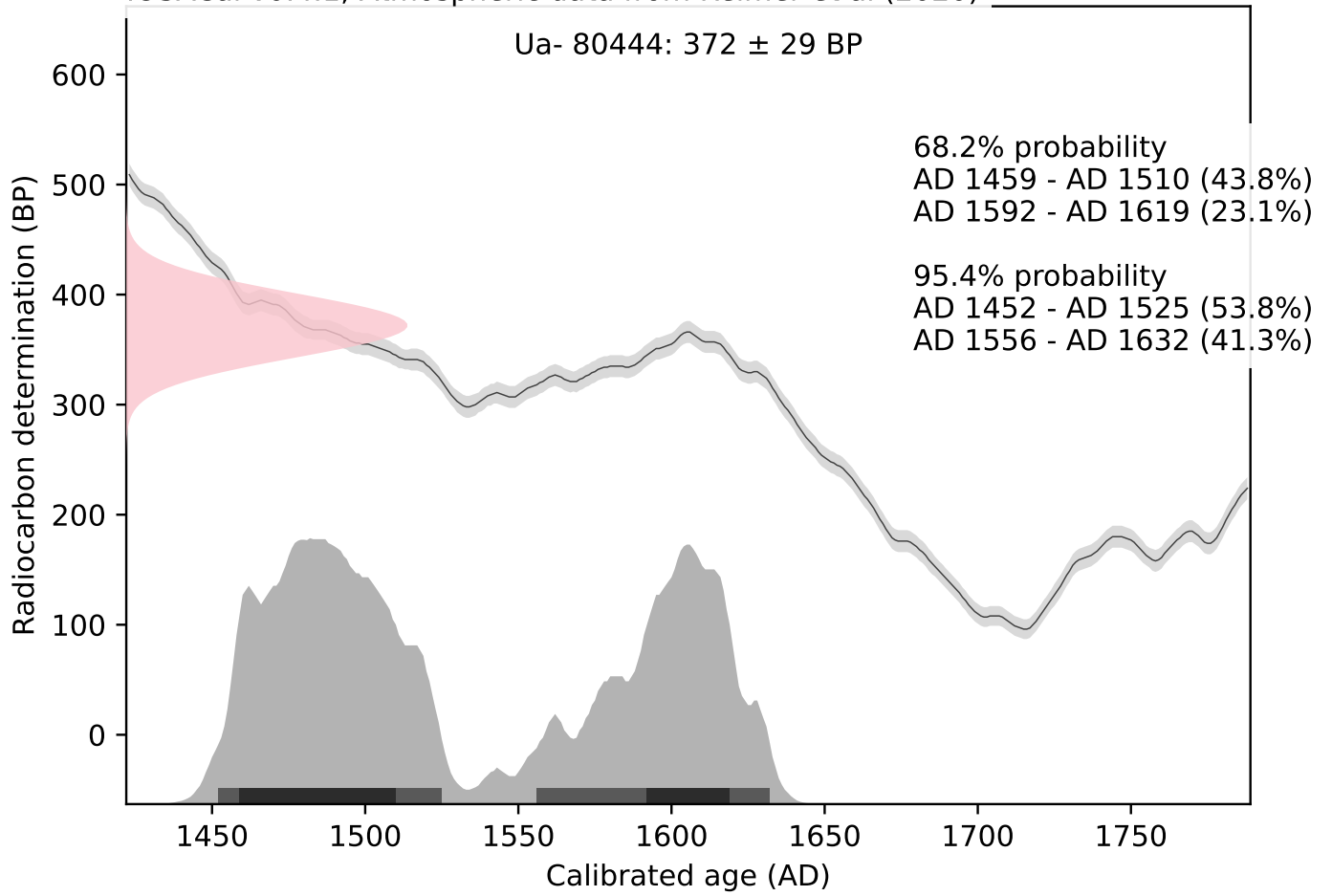


IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)



IOSACal v0.4.1; Atmospheric data from Reimer et al (2020)





ANALYSRAPPORT 2024:01

Järnframställning i Älvros

Analyser av teknisk keramik, malm, slagg och järn från två blästplatser

Härjedalen, Älvros socken, L1945:9225 och L2022:10033

Lena Grandin och Ole Stilborg



STATENS HISTORISKA MUSEER

Arkeologerna

Kontoret i Hägersten:

Instrumentvägen 19
126 53 HÄGERSTEN

Kontoret i Uppsala:

Hållnäsgratan 11
752 28 UPPSALA

Tel.: 010-480 80 00

www.arkeologerna.com

e-post: foramn.efternamn@arkeologerna.com

www.shmm.se

Omslag: Lilla bilden visar slagg (P21) från nedre fyllningen i ugn A489 (L2022:10033), uppbyggd av flera tunnare pålagrade slaggsträngar och med flera inkapslade gråbrända lerfragment (fodring). Den större bilden visar genomskuret fodringsfragment med en formad insida till vänster, inbäddat i slagg och fläckvis sintrat (fina blåsor) från värmepåverkan från slaggen. Foto: L. Grandin.

© 2024 STATENS HISTORISKA MUSEER

Arkeologerna

Analysrapport 2024:01

Bildredigering och layout Lena Grandin och Ole Stilborg

Tryck/utskrift Uppsala 2024

Innehåll

Inledning	5
Uppdraget och platsen.....	5
Järnframställning – bakgrund och förutsättningar	5
Rätansböle RAÄ 30:1	5
Älvros RAÄ 75:1 och 78:1.....	6
Andra anläggningar knutna till järnhantverk i området.....	7
Förutsättningar och möjligheter	7
Material och metod	8
Material och provurval	8
Metoder	9
Granskning	9
Analysmetoder.....	9
Resultat.....	9
Förekomst och fördelning av slagger, malmer och ugnsväggar.....	10
L1945:9225.....	10
L2022:10033.....	11
Keramiskt material	13
Inledning	13
Bakgrundskunskap: blästplatserna Älvros 75:1 och 78:1, Långskogen och Rätansböle 30:1, Rätansböle	13
Keramiskt material från L1945:9225 och L2022:10033	15
Frågeställningar.....	16
Råmaterial	16
Ugnskonstruktion	20
Ugnsfunktion.....	23
Fynd från varpen	25
Analyser – Petrografi, P-ED-XRF och Termiska analyser	25
Ugnarnas konstruktion och funktion.....	31
Jämförelse mellan de två Älvros-ugnarna på L1945 och L2022	31
Jämförelse med Älvros 75:1 och Rätansböle	31
Diskussion och konklusioner	32
Slagger	34
Slaggtyp 1.....	34
Slaggtyp 2.....	41
"Slaggtyp" 3 – järn och slagg.....	48
Metalliskt järn.....	49
Järn inneslutet i större slagger och mindre klumpar	49
Avtryck efter blästerrör.....	52
Rostad myrmalm från de båda platserna.....	52
Produkten, processen och råvaran – variation i sammansättning.....	54
Järnframställningsprocessen.....	54
Variationer i använda malmer.....	54
Produkten – stål och fosforjärn	56

Sammanfattning och tolkning (Ole Stilborg och Lena Grandin).....	57
Ugnarnas konstruktion	57
Råmaterial till ugnen	57
Malmråvaran	58
Ugnens funktion	59
Produkten – kvalitet, egenskaper och mängd	60
Referenser	62
Bilagor	64
Bilaga 1. Analysmetoder för teknisk keramik (Ole Stilborg)	64
Specialregistrering	64
Mikroskopering av tunnslip i polarisationsmikroskop	64
Termisk analys.....	64
Bilaga 2. Undersöknings- och analysmetoder för slagger och metaller (Lena Grandin och Erik Ogenhall).....	65
Provtagning och analys.....	65
Allmänt om använda analysmetoder.....	65
Bilaga 3. Registrering (Lena Grandin).....	68
Bilaga 4. Dataark teknisk keramik (Ole Stilborg).....	69
Bilaga 5. Analys av slagger (tunnslip) (Lena Grandin)	78
Bilaga 6. Analys av järn (polerprov) (Lena Grandin)	86
Bilaga 7. Kemisk analys av malm och slagg. Analystabell, diagram och utvärdering. (Lena Grandin).....	91
Bakgrund, förutsättningar och upplägg av resultaten.....	91
Några huvudämnen	91

Inledning

Uppdraget och platsen

På uppdrag av Kristina Jonsson, JAMTLI, har specialregistrering och detaljerade analyser gjorts av slagger, ugnsväggar och annat arkeometallurgiskt material från två järnframställningsplatser, L1945:9225 och L2022:10033, i Älvros socken i Härjedalen. Lena Grandin har utfört metallurgisk registrering och analyser och Ole Stilborg motsvarande keramisk registrering och analyser. Övergripande slutsatser har skrivits gemensamt.

De båda järnframställningsplatserna undersöktes av JAMTLI under sommaren 2023. Samma övergripande struktur noterades på de båda platserna med en blästugn och ett intilliggande slaggarvarp, en fällsten med intilliggande slaggarvarp (med förmodad fällslag), samt ett malmupplag med rostad malm.

Järnframställning – bakgrund och förutsättningar

Urban Hiärne (1687) beskriver samtida järnframställning i Härjedalen på följande vis: *"Men Myrjärnet eller annat mildt Järn behofwer icke så stor Eld eller så höga Ugnar, hwarigenom sådan malm forbrennes, utan det rostade Myrjärnet smeltes antingen i ganska små och låga Ugnar, hvilka de kalla Käringar, eller och i leerbeslagna Gropar som en Sockertop pyramidal ingräfne, hvilka kallas bläster, som opvärmes först med torrved och blåses med trampebellior, sådan weden är halfbrunnen åter ny wed och deruppå malmen och åter wed. När det är smelt, tappas det af i små Ossmunds kakor"* (Englund 2002:93).

Den järnframställning som beskrivs av Hiärne är visserligen senare men kan ge en bra bakgrundsbild till de järnframställningsplatser som är i fokus nu och som enligt uppdragsgivaren troligen etablerades under 1300-talet och var i bruk till åtminstone mitten av 1400-talet.

Många järnframställningsplatser är också kända i socknen sedan tidigare men det är endast en mindre andel som har undersökts detaljerat och har kunnat relateras till Hjernes beskrivning ovan (t.ex. Pagoldh 1990). Än färre har genomgått någon modern arkeometallurgisk eller ceramologisk analys. Det finns ett fåtal äldre (enklare) analyser av t.ex. slaggar från regionen att jämföra med, ur ett generellt perspektiv, men inte i närområdet (Magnusson 1986). Dessa båda blästplatser har därmed förutsättning för en heltäckande bild kring konstruktion och funktion med hjälp av aktuell arkeometallurgisk forskning (se t.ex. Stilborg 2023 och referenser däri) integrerat med resultaten från den arkeologiska undersökningen. Denna kombination av analyser och arkeologi föreslogs redan vid tidigare arkeologiska undersökningar (Pagoldh 1990) ge ett mervärde.

Rätansböle RAÄ 30:1

En järnframställningsplats i byn Rätansböle (RAÄ 30:1), i Jämtland, undersökt av JAMTLI 2016 (Engman 2017) har dock analyserats mer systematiskt. Järnframställningsplatsen var delvis skadad av mer

sentida aktiviteter och av ugnen fanns endast spridda rester. Bättre bevarade var ett slagghvarp, en fällsten, ett malmupplag och ett kolupplag. De arkeometallurgiska analyser som gjordes (Grandin & Ogenhall 2017) visar att järnframställningen ägt rum i en schaktugn med slagguppsamling i ugnens nedre del. Lera har ingått i väggarnas konstruktion som annars huvudsakligen verkar ha bestått av sten. En analys av enstaka fragment av ugnsvägg/fodringar visar att såväl en naturligt magrad som en sandmagrad lera har använts. Slaggerna, vanligen med rikligt innehåll av metalliskt järn, tyder på att reduktionen från malm till metall har skett även på samma nivå som slaggen har samlats, vilket betyder att slagguppsamlingsutrymmet bör ha varit tämligen grunt. Några slagger med avtryck efter forman/blästerröret kan därmed ses ha bildats i anslutning till blästeringången. Kemiska analyser av både slagger och malmer visade att de malmer som har använts är manganrika, eller mycket manganrika. Avfallsjärn funnet inkapslat i slaggerna påvisar att stål, med något varierande kolhalt, troligen har varit en av produkterna, men även kolfritt, mjukt järn har observerats. Denna plats var i bruk under 14–1500-talet, sannolikt andra halvan av 1400-talet (Engman 2017) dvs. möjligen samtidigt med de båda blästplatserna i Älvros.

Älvros RAÄ 75:1 och 78:1

Ugnarna RAÄ Älvros 75:1 och 78:1, vilka utgrävdes 1990 (Pagoldh 1990), låg ca 4 km NNV om L 1945:9225. Framförallt ugnarna var betydligt bättre bevarade på dessa två platser och även om det inte har utförts några arkeometriska analyser på vare sig slaggh eller rester av teknisk keramik, så är resultaten av den noggranna arkeologiska undersökningen och tolkningen av stort värde att lyfta fram som bakgrund för förståelsen av L1945:9225 och L2022:10033 förutom som viktigt jämförelsematerial. Därför beskrivs fynden relaterat till ugnarna relativt detaljerat här. På båda platserna omfattar anläggningarna ugn, ett eller två slagghvarp och ett malmupplag. När det gäller platsorganisationen är blästplatsen 75:1 nära nog identisk med strukturen på blästplatsen L1945:9225 (Fig. 1, jämför även L2022:10033, fig.2).

Ugnstypen är den samma med kallmursstenbyggda schakt med lera som tätningsmedel och en ”blästersköld” eller ugnslucka av lera med blästeröppning (Fig. 3). Den senare finns tyvärr inte tillgänglig för närmare studie i Jamtlis fyndmagasin (pers. medd. Antikvarie K. Jonsson, JAMTLI).

Ugnen 75:1 var ingrävd i en höjning av sandundergrunden (Pagoldh 1990, 5ff) medan ugn 78:1 var anlagd på plan mark med en träram på utsidan och en sandfyllning mellan den och schaktet (ibid. s 10 f). Sandfyllningen beskrivs som skiktad med inslag av kol (Ibid. s. 11). En möjlighet är då att sanden har tillkommit gradvis under ugnens funktionstid, men då skulle ramen vara svårförklarlig. En tredje möjlighet, som kan vara den mest sannolika, är att sanden som användes till ifyllning av utrymmet mellan ram och schakt redan var delvis förorenad med kol från tidigare järnframställning eller annan

aktivitet på platsen. Pagoldh antar att schaktet revs och restaurerades efter varje körning sannolikt med åter-användning av de flesta av stenarna i det kallmurade schaktet (ibid. s. 12). Avfallet skulle då enbart bestå i en viss mängd eldpåverkat skärvsten, små slaggrester som inte röjts bort till varpet, samt rester av bränd lera och träkol. I varpen hittades företrädesvis slagg men även förslaggad lera (ibid. s 7), som antas vara rester av ovannämnda "blästersköld"/ ugnslucka.

Reducerad bränd lera påträffades på Älvros 75:1 och 78:1 i lager inne i ugnsutrymmena (ibid. s 3f) respektive i anknytning till stenar från schaktet på ett sådant sätt att fragmenten tolkades som rester efter en tätning av insidan av schaktet (Pagoldh 1990 s. 10).

Slaggerna från de båda platserna, främst observerade från slaggarvarpen utgörs enligt Pagoldh (1990 s.7–8, s. 13) av större eller mindre bitar slagkakor (bottensköllor) som stelnat i ugnsschaktet. En sådan slagg som utgjorde en fjärdedel av en ursprunglig slagg vägde 6,5 kg varför en hel slagg troligen kan ha vägt 25–40 kg. Slaggerna beskrivs vidare som morfologiskt två huvudtyper där den första är porös, blåsig och knagglig. En andra typ beskrivs vara kompakt och tung, med blågrön, metallskimrande snittyta och sannolikt hög järnhalt; denna föreföll vara vanligare på RAÄ 78:1. En, tredje, mindre frekvent typ är "ormande eller korvande med slät ovasidan och något ojämnare undersida".

Andra anläggningar knutna till järnhantverk i området

Ur ett teknologiskt och kronologiskt bredare perspektiv är det också intressant att nämna att slaggar från vattendrivna hammare i flera socknar i Härjedalen, bl.a. Älvros har analyserats av Buchwald (2008, s 62–64). Denna typ av hammare tas i bruk senare än de aktuella järnframställningsplatserna, varför järnet från 1300–1400-talets järnframställning på blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033 bör ha genomgått annan typ av efterbehandling av de slaggförande järnluppar som sannolikt tillverkades. Bland rensningsslaggerna, också omnämnda som hammarslagger, som Buchwald (2008) har analyserat lyfter han fram slagg från en hammare i Älvros, i Linkvarn, byggd 1724, som visar att rensningen inte har varit framgångsrik eftersom slaggen innehåller stora mängder metalliskt järn.

Förutsättningar och möjligheter

Detaljerade kemiska analyser görs för att i *slaggerna* från ugn och tillhörande slaggarvarp se om det finns skillnader i processteknik, utvinningsgrad eller malmanvändning eller om framställningstekniken visar homogenitet inom respektive plats brukstid.

Vid den fällsten som finns på båda platserna har den tillverkade järnluppen slagits samman när den togs ur ugnen. Slagg runt fällstenen kan förväntas innehålla även yttre delar av järnluppen och kan analyseras (metallografisk analys) för att bedöma järnets kvalitet (se mer nedan) och slaggen analyseras kemiskt för att jämföra med slagg från de andra slaggarvarpen och ugnarna.

Malmer från malmupplagen på respektive plats analyseras kemiskt. Här finns möjlighet att bedöma om det är samma malm på de båda platserna och om de kan relateras till slaggerna, alternativt om slaggerna har sammansättningar som avviker från de provtagna malmerna antyder det att ytterligare malmer har använts. Detta är fullt möjligt med tanke på att det finns goda förutsättningar för råvarukällor i närområdet (se även Pagoldh 1990, s 14). Kunskap om deras innehåll, förutom järn kan, indirekt, ge en fingervisning om vilken typ av järn som har tillverkats. Som exempel kan fosforinnehåll i malmen (och tillhörande slagg) antyda att fosforjärn har varit en av produkterna. I blästugnar har mjukt järn (kolfattigt) varit en vanlig produkt. Det finns också många exempel på framställning av stål (kolhaltigt järn) direkt i blästugnar. Sådan framställning kan underlättas om malmen också innehåller mangan (se t.ex. Bennerhag m.fl. 2021). Det är därmed möjligt att från såväl metalliskt avfallsjärn som slagger (som delvis ärver malmens kemiska signatur) visa vilken typ järn som har tillverkats, och därmed ge en inblick i det s.k. Härjedalsjärnets kvalitet - en av många viktiga frågor som diskuterades redan av Pagoldh (1990) vid tidigare undersökningar av blästplatser i Älvros socken, men inte analyserades vidare då.

Frågeställningar och förutsättningar för det *keramiska fyndmaterialet* presenteras integrerat med inledningen och bakgrunden till analysresultaten nedan.

Material och metod

Material och provurval

Fyndmaterialet från båda järnframställningsplatserna omfattar teknisk keramik och järn från ugnen, de båda slaggarvarpen samt från området runt fällstenen. Dessutom finns prov av malm från malmupplagen. Det inlämnade materialet är ett urval gjort delvis redan i fält av JAMTLI som dock har dokumenterat den totala mängden för varje kontext. Allt material som låg på och i ugnarna togs tillvara. Slaggvarpen grävdes detaljerat som ett smalt schakt från ytterkanten in till mitten för att kunna samla in material från topp till botten, huvudsakligen centralt i varpen. Det keramiska materialet som ingår i studien kommer främst från ugnarna, i något fall också från slaggvarpen.

Materialet är insamlat i relation till respektive kontext/anläggning, i vissa fall med kompletterande uppgifter kring position, t.ex. ”övre del i slaggvarp”. För att kunna särskilja slagger och ugnsväggar på detaljnivå fick varje insamlad fyndenhet eget provnummer (P1–67). I möjligaste mån separerades slagg från teknisk keramik (bränd lera/ugnsvägg) till separata provnummer. Metalliskt järn ingår ofta som större eller mindre del i slaggerna – oftast har metallen inte observerats förrän i samband med provtagning – och har inte fått egna provnummer. Malmerna har en egen provnummerserie från fält (Malmprov 1–3).

Urvalet för de olika analyserna (se nedan) är gjort för att kunna jämföra samma typ av material från så många kontexter som möjligt såväl inom som mellan de båda järnframställningsplatserna, t.ex.

slagger från ugnar och slaggarvarp. Urval har också gjorts av delar av större bottenlagger, som vanligen trögflutna och med innehåll av metalliskt järn, respektive flutna slag. De senare är vanligen betydligt mindre och saknar, eller har mindre mängder metalliskt järn. Urvalet av prov av teknisk keramik representerar variationen i grovlek, makroskopiskt iakttagen förekomst av växt- och bergartsinklusioner samt variation i bränning.

Metoder

Inledningsvis har en okulär granskning gjorts av allt material som har lämnats in av JAMTLI. 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

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. *Slaggar* 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. *Malmer* analyseras med totalkemiska analysmetoder (ICP) och på polerade prover i polarisationsmikroskop. *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 sintringsintervalanalys.

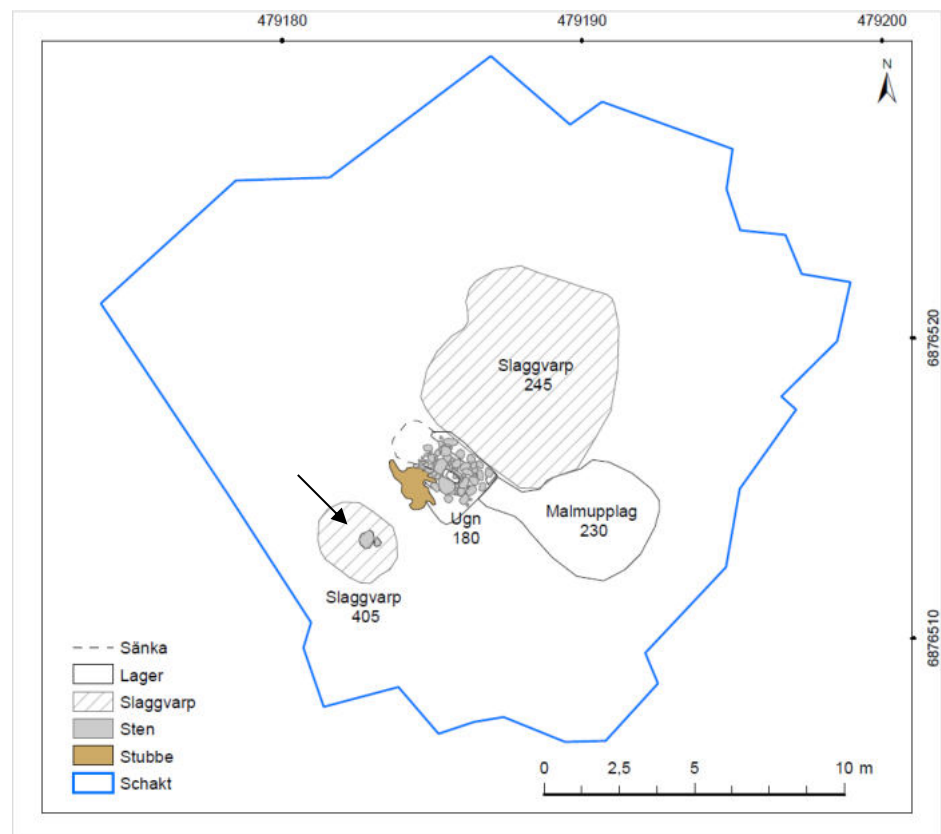
Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten på en övergripande nivå. De detaljerade analysresultaten finns i respektive bilaga (3–7). Inledningsvis ges en överblick av förekomst och fördelning av ugnsväggar, slagger och malmer från de olika kontexterna (Fig. 1–2, Tabell 1–2). Därefter presenteras analysresultaten, och en kort diskussion av dem, för respektive materialkategori. Slutligen diskuteras resultaten i relation till ugnskonstruktion och funktion, samt råvaror, avfall och produkter som tillsammans bygger upp kunskapen kring de båda järnframställningsplatserna. Resultaten har också gett upphov till nya frågor som belyses mer i den efterföljande diskussionen.

Förekomst och fördelning av slaggar, malmer och ugnsväggar

L1945:9225

- Ugn A180: ugnsväggar av bränd lera finns från fyllningen på flera nivåer. Inga större bottenlagger förekommer, utan endast fragmenterat slaggmateriel från ugnens fyllning.
- Slaggvarp A245 (vid ugnen): flera stora bottenlagger med något varierande former och utseende. Ugnsväggar ovanliga (P54). Små fragment av gråbränd lera, i vissa fall med fastsmält slagg (P49) förekommer.
- Slaggvarp A205 (vid fällsten): slaggen i varpet är av liknande karaktär som slaggen i det större varpet, dvs. bottenlagger. I detta varp finns också en (järnrik) slagg med avtryck från ett blästerrör (P66).
- Malmupplag A230: de båda malmproverna (Malmprov 1 och 2) utgörs av finkornigt, magnetiskt röd-lila material, med lite inblandning av slaggfragment och kolstycken.

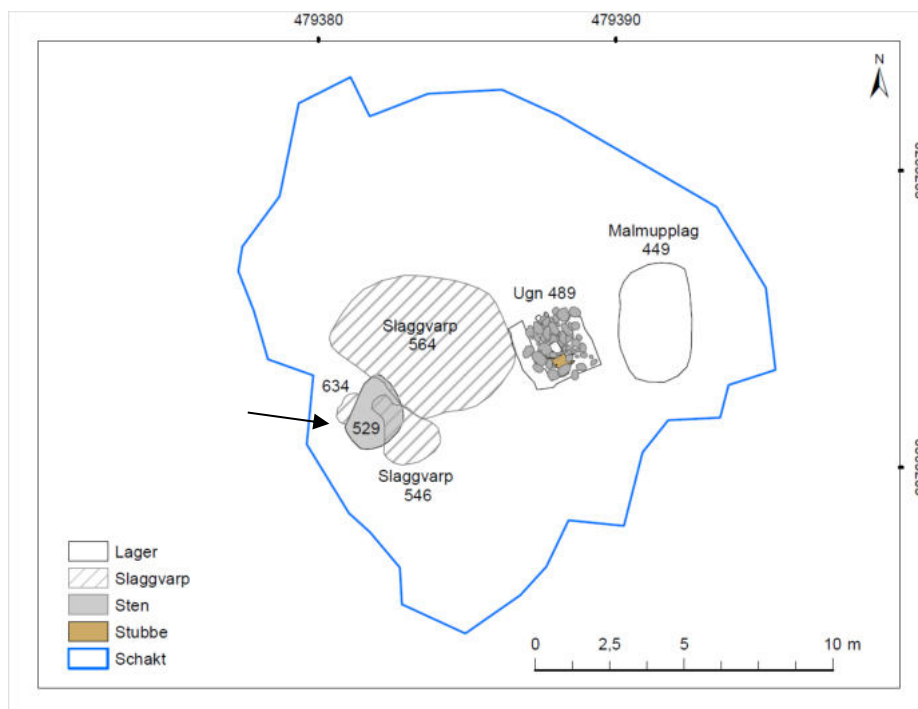


Figur 1. Plan över den undersökta järnframställningsplatsen L1945:9225 med ugn, slaggvarp, fällsten (vid pilen) och malmupplag (från JAMTLI).

L2022:10033

- Ugn A489: ugnsväggar av bränd lera finns från både övre och nedre fyllningen i ugnen. I botten påträffades en bottenslagg (*P20*) *in situ* och en mer fluten slagg med inkapslade fragment av bränd lera (*P21*).
- Slaggvarp A564: innehåller såväl större bottenslagger som småslaggar. Ett fåtal ugnsväggsfragment finns också.
- Slaggvarp A546 (vid fällsten): Likt från övriga slaggvarp finns en variation av slaggar, men i detta varp förekommer också slaggar med helt annan karaktär än i slaggvarpet 564. Dessa är trögflutna, tunga, ofta blå-grå och något tillplattade (t.ex. *P31*) som efter delning visar sig främst bestå av metalliskt järn, med mindre mängd slagg.
- Malmupplag A449: malmprovet (*Malmprov 3*) är finkornigt, magnetiskt lila-brunt material, med lite inblandning av kolstycken.

Ugnsväggar av bränd lera är främst tillvaratagna från ugnarna; endast i mindre omfattning från slaggvarpen. Bitar med övergång mellan slagg och bränd lera (t.ex. *P21*) finns också som visar hur slaggens värme har påverkat leran i direkt kontakt med slaggen.



Tabell 1. Översikt med undersökta kontexter (Fig. 1–2) och prover.

Lokal	A/L	Kontext 1	Kontext 2	Prov
L1945:9225	180	Ugn	Överst	P38–40
	180	Ugn	Övre L357	P41–44
	180	Ugn	Nedre L366	P45
	245	Slaggvarp (ugn)	Övre	P52–58
	245	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P46–51
	405	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P62–66
	405	Slaggvarp (fällsten)	Nedre	P59–61
	230	Malmupplag		MP 1–2
L2022:10033	489	Ugn	Övre L646	P15–19
	489	Ugn	Nedre L655	P20–27
	564	Slaggvarp (ugn)	Övre	P1–6
	564	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P7–14
	546	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P28–33, 67
	546	Slaggvarp (fällsten)	Nedre	P34–37
	449	Malmupplag		MP 3

Tabell 2. Analyserade prover och analysmetoder (Ts = tunnslip, P = polerprov, ICP = kemisk, ker = keramisk (specificeras i tabell 4).

A/L	Kontext 1	Kontext 2	Prov	Material	Analys
	L1945:9225				
180	Ugn	Överst	P39	Ugnsvägg	Ker
180	Ugn	Övre, L357	P41	Ugnsvägg	Ker
180	Ugn	Övre, L357	P42	Ugnsvägg	Ker
180	Ugn	Nedre, L366	P45	Slagg	ICP, Ts
245	Slaggvarp (u)	Övre	P53	Slagg	Ts (A), P (B)
245	Slaggvarp (ugn)	Övre	P54	Ugnsvägg	Ker
245	Slaggvarp (ugn)	Övre	P57	Slagg	ICP, Ts
245	Slaggvarp (ugn)	Övre	P58	Slagg	P (A, B)
245	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P46	Bränd lera	Ker
245	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P49	Bränd lera	Ker
245	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P51	Slagg	ICP, Ts
405	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P63	Slagg	P
405	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P64	Slagg	ICP, Ts
230	Malmupplag		MP 2	Malm	ICP, P
	L2022:10033				
489	Ugn	Övre, L646	P16	Ugnsvägg	Ker
489	Ugn	Övre, L646	P18	Ugnsvägg	Ker
489	Ugn	Nedre, L655	P20	Slagg	ICP, Ts
489	Ugn	Nedre, L655	P21	Slagg	ICP (B) Ts (A,B) Ker
564	Slaggvarp (ugn)	Övre	P2	Slagg	ICP, Ts
564	Slaggvarp (ugn)	Övre	P3	Slagg	P
564	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P7	Slagg	Ts
546	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P29	Slagg	ICP, Ts
546	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P31	Slagg	P
546	Slaggvarp (fällsten)	Nedre	P35	Slagg	ICP, Ts
449	Malmupplag		MP 3	Malm	ICP

Keramiskt material

Inledning

Fynd av keramiskt material har specialregistrerats och analyserats av Stilborg keramikanalys (SKEA). I arbetet med registreringen av det keramiska fyndmaterialet från L1945:9225 och L2022:10033, inom ett avstånd på ca 350 meter, och genom läsning av rapporter om tidigare undersökta blästugnar/blästugnsplatser av samma typ (Pagoldh 1990; Grandin & Ogenhall 2017 m. ref) blev det klart att tidigare insamlad kunskap är en nödvändig bas för att kunna redovisa resultaten av främst registreringen på bästa sätt. Den övergripande delen av bakgrunden i form av platserna Rätansböle 30:1 och Älvros 75:1 och 78:1 har redan presenterats ovan. Här följer mera specifikt keramiska iakttagelser.

Bakgrundskunskap: blästplatserna Älvros 75:1 och 78:1, Långskogen och Rätansböle 30:1, Rätansböle

Ugnstypen på Älvros 75:1 och 78:1 (Pagoldh 1990), är den samma som på L1945:9225 och L2022:10033 med kallmurs-stenbyggda schakt med lera som tätningsmedel och en ”blästersköld” eller ugnslucka av lera med blästeröppning (Fig. 3).

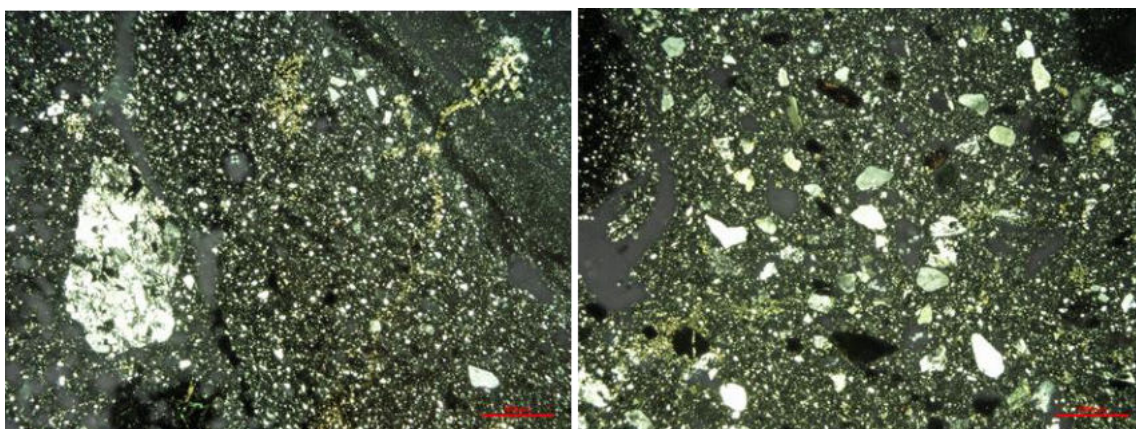


Figur 3. Foto av delvis bevarad blästersköld/ugnslucka med blästerhål påträffat i slagg-varpet Älvros 75:2, Pagoldh 1990, s. 6.

Den senare finns tyvärr inte tillgänglig för närmare studie i Jamtli's fyndmagasin (pers. medd. Antikvarie K. Jonsson, Jamtli). Pagoldh antar att schaktet revs och restaurerades efter varje körning sannolikt med åter-användning av de flesta av stenarna i det kallmurade schaktet (ibid. s. 12). Avfallet skulle då enbart bestå i en viss mängd eldpåverkat skärvsten, små slaggrester som inte röjts bort till varpet, samt rester av bränd lera och träkol. I varpen hittades företrädesvis slagg men även

förslaggad lera (ibid. s 7), som antas vara rester av ovannämnda ”blästersköld”/ ugnslucka.

Reducerad bränd lera påträffades på Älvros 75:1 och 78:1 i lager inne i ugnsutrymmena (ibid. s 3f) respektive i anknytning till stenar från schaktet på ett sådant sätt att fragmenten tolkades som rester efter en tätning av insidan av schaktet (Pagoldh 1990 s. 10). Dessutom anges lera på den tecknade profilen från 75:1 bakom/utanpå en utfallen sten, vilket antyder att det även kan ha funnits en lertätning på utsidan av schaktet; en konstruktion som förefaller helt logisk. Leran som använts till schakt och ugnslucka beskrivs som fin och sandig och det antas av utgrävaren att man har magrat leran med den lokala sanden. Det har inte gjorts några analyser eller försök att lokalisera källan till lerråmaterialet. Enbart analyser kan avgöra om man har magrat en fetare lera med lokal sand. Det känns inte omedelbart som sannolikt men ett tunnslipsprov av ett av tre undersökta fragment från blästplatsen Rätansböle (Rätansböle 30:1; Grandin & Ogenhall 2017; Engman 2017) verkar faktisk ha magrats med 10-15 % sorterad finkornig sand (maxkorn 0,8 mm, fig. 4 höger).



Figur 4. Mikroskopfoton av utsnitt av två prov av ugnsvägg från Rätansböle – RTK 1 (till vänster) bestående av en grov, osorterad siltrik lera och RTK 2 (till höger) bestående av en grov, sorterad, siltrik lera magrad med 10-15 % finkornig sand. X-pl.

Ingen ugnrest påträffades på Rätansböle men stenfragment anger att det rörde sig om samma typ av ugn som Älvros-ugnarna och de två ugnar som analyserats här. Enbart mindre fragment av bränd/sintrad lera påträffades, främst fastsintrad på slagg och sannolikt härrörande från den inre tätningen av schaktet inom blästzonen. Tre mindre fragment har tunnslipsanalyserats av D. Sahlén (ibid s 23, fig. 10; Sahlén opubl.) och av denna rapportens författare. Den fina sand som använts som magring i ett av proven (RTK 2) innehåller – som Sahlén har påpekat – sandsten förutom kvartsitkorn. På fotot figur 10 i Grandin & Ogenhall ses tydligt olika värmegradierter på fragmenten – den ena med upp till 20 mm bred förglasad, blåsig zon och en 6 mm bred, reducerad sintrad zon som övergår i en omkring 10 mm bred, lägre bränd, oxiderad zon. Det tredje fragmentet har en enklare

värmegradient bestående av en omkring 13 mm bred, reducerad bränd zon som är lätt sintrad närmast insidan och en ca 15 mm bred, lägre bränd, oxiderad del. Rimligen tillhör detta fragment lerfodringen något högre upp i schaktet medan de två första fragmenten har suttit inom ugnens blästzon.

Keramiskt material från L1945:9225 och L2022:10033

Vikten av det keramiska fyndmaterialet är mycket svårberäknat då en betydande del består av lager som sintrat fast på större eller mindre slaggansamlingar (Fig. 5). Beräkningen vilar då på vikten av lösa keramiska fragment (några med mindre mängder påsintrad slagg) plus schablonmässigt 10 % av vikten av de större styckena av slagg med ett lager av påsintrad keramik. För två större bitar i prov 15 och 16, A489, L2022:10033 har 20 % räknats som lera då det keramiska lagret vid kapning har visat sig relativt tjockt.



Figur 5. Foton av utsida (tv) och insida (th) av största fragmentet i P15, A489, L2022:10033 bestående till största delen av slagg (th) och till mindre del av bränd lera (tv).

Med dessa utgångspunkter ger en sammanräkning följande resultat (Tab. 3):

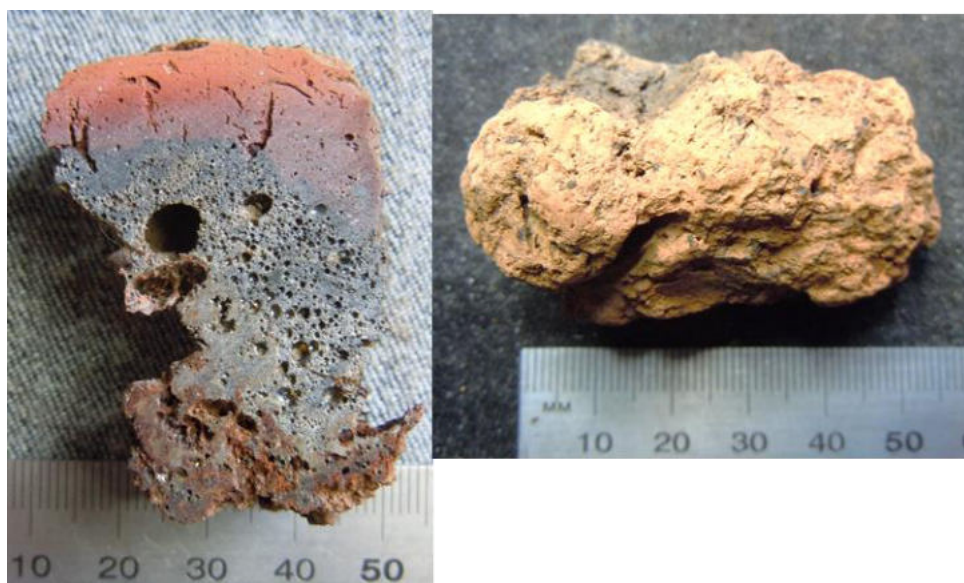
Tabell 3. Tabell över beräkningar av bevarad tekniskt keramiskt material från L1945:9225 och L2022:10033.

Plats	Ugn (lösa frgm)	Varp (lösa frgm)	Ugn (fastsint)	Varp (fastsint)	Totalt
L1945:9225	544 g	51 g	118 g	181 g	893 g
L2022:10033	606 g	64 g	1058 g	0 g	1728 g

Mellan 1 och 2 kilo keramiskt material har således bevarats på varje plats. Huvudorsaken till skillnaden verkar vara att några större slaggstycken i ugnen L2022:10033 har sintrat fast i schaktets nedre fodring (Fig. 6). Färre och mindre liknande stycken har observerats i materialet från ugnen A180 på L1945. Inga sådana exempel har

rapporterats från slaggen i varpen på de två platserna och det kan betyda att det har funnits fodring längre ner i den sista versionen av ugn L2022:10033 än i tidigare versioner av samma och i ugnen L1945:9225.

Självklart har en lägre bränd eller obränd del av fodringen inne i schaktets övre del inte bevarats och det samma gäller liknande material i varpet. Enbart små fragment har bevarats av blästersköldar på de två platserna och just dessa sköldar har med största sannolikhet representerat en större del av lerbehovet. Om det även funnits en fodring på utsidan (se ovan och under "Diskussion") kan lerbehovet till en ugn grovt beräknas till minst 4-5 kilo (upp till 10 kilo).



Figur 6. Till vänster fin, siltig lera i kapad sektion från P16, A489, L2022:10033. Till höger, brottyta av fin, siltig, växtmagrad lera från fragment av blästersköld/lucka(?) P39, A180, L1945:9225.

Frågeställningar

De väsentligaste frågorna till studien av det keramiska fyndmaterialet från L1945:9225 och L2022:10033 rör:

- Råmaterialval och -tillgänglighet samt eventuell tillsats av magringsmedel.
- Användningen av lera i konstruktionen av ugnen.
- Spåren av processen i form av det keramiska materials varierande bränningstemperatur och bränningsatmosfär.

Råmaterial

En uppskattning av behovet av lera till ugnskonstruktionen har baserats dels på mängden av teknisk keramik som påträffats vid de aktuella ugnarna dels på resultaten av den tidigare undersökningen av Älvros 75:1 och 2 (Pagoldh 1900). Om skölden (Fig. 3) i sig har krävt 2 kilo och det utöver den inre fodringen, varav brända rester har påträffats, även har funnits en yttre fodring av stenschaktet, ger överslaget ett behov på

minst 4-5 kilo lera. Fem till 10 kilo är då ett rimligt mått för hur mycket lera som behövde insamlas till byggnationen av en ugn av denna typ.

Registreringen visar på att det till konstruktionen av de två ugnarna på L1945:9225 och L2022:10033 har använts väl sorterad, fin siltig (9225 & 10033) till siltig, lätt finsandig (10033) lera (Fig. 6 och 7). Detta är en makroskopisk bedömning som kan ändras genom den mera detaljerade informationen som uppnås genom mikroskopering av tunnslip (se nedan). På flera fragment från L1945:9225 ses avtryck efter stråfragment eller en fin porighet som båda antyder att leran kan ha växtmagrats. Detta är speciellt tydligt på ett fragment som tolkats som en del av en blästersköld/ugnslucka (P39, A180, fig. 6) men den eventuella växttillsatsen tycks variera en hel del – och ett annat möjligt fragment av blästersköld/ugnslucka (P42, A180) har inga synliga spår efter växtdelar.

I flera fragment från ugn A180 och varp A245 på L1945:9225 finns enstaka skarpkantade, upp till 15 mm stora bergartsfragment som är för få för att kunna utgöra magring och inte bör tillhöra lera med denna sortering naturligt (Fig. 7). De bedöms därför vara förorening av avslag från stenarna i schakt-väggen (ev från tillmakning av stenarna, jmf Englund 2002, 213) och skulle kunna vara ett resultat av aktivitetens långvarighet på platsen. Ett inbäddat fragment av slagg(?) i en ugnsvägsbit (P41, A180) stärker intrycket av en förorenad miljö (Fig. 7).

Bara i något enstaka fall har ett fragment av teknisk keramik från ugnen på L2022:10033 en liknande förekomst av skarpkantat bergart (P18, A489). C-14 dateringarna visar även här en lång användningsperiod, så skillnaden beror antingen på att fragmenten från den senare ugnen överlag tillhör dennas första fas (vilket känns osannolikt) eller att man höll leran/platsen mera ren här. Med något möjligt undantag finns det inga spår av växtmagring i de keramiska fragmenten från denna ugn.



Figur 7. Till vänster, fodringsfragment av fin, siltig lera med större bergartsfragment (pil) och till höger annat fragment med slagfragment (pil) från P39 respektive P41; A180, L1945:9225.

Lerprov nära blästplatserna

I samband med besök vid utgrävningarna lyckades personal från Bäckedals Folkhögskola i Sveg hitta leriga material i utkanten av utgrävningsområdena för båda blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033. Leran verkar i båda fallen ha kommit fram vid avschaktningen av området och påträffades i sekundärt läge.

En del tidigare undersökningar av blästplatser, vilka omfattat keramiska studier, har visat på att lera till ugnsväggarna har tagits i omedelbar närhet till ugnarna om lämplig sådan (främst termiskt) fanns att tillgå. Det underlättar arbetet med ugnskonstruktionen betydligt – särskilt när det rör ugnar med helt lerbyggda schakt – att råmaterialet inte ska transporteras över någon längre sträcka. Därför är det viktigt att undersöka om lämplig lera finns nära blästplatser. Lerprov från Älvros-ugnarnas närmiljö är dock inte bara intressanta för en möjlig positiv identifiering av det använda råmaterialet men även som ett uttryck för vilka olika kvaliteter av leror/lerhaltiga material som kan hittas i området. Trots det sekundära läget är dessa prov således av intresse för studien.

Skisser över fyndplats samt material från båda platser har skickats till SKEA som har gjort en utvärdering och analys av de två proven.

L1945:9225. Lera hittades utanför schaktningsområdet 10-15 m NÖ om anläggningarna. Det ursprungliga läget är okänt och därför också om det rör sig om en naturlig lerficka i sandundergrunden eller lera som härrör från blästugnsanläggningen.

L2022:10033. Lera hittades utanför schaktningsområdet 10-15 m NV om anläggningarna. Det ursprungliga läget är okänt och därför också om det rör sig om en naturlig lerficka i sandundergrunden eller lera som härrör från blästugnsanläggningen.

Praktisk test av proven

L1945:9225. Vid testtillfället var det tillskickade provet blött och rödbrunt färgat (Fig. 8 tv).

Provet bedöms som en väl sorterad, lerig silt/finsand utan några större sandkorn. Det finns en del tunna rottrådar i provet. Större rottrådar avlägsnades innan testet av plasticiteten. Med tillsats av en liten mängd vatten har provet en viss plasticitet men är kort.

Materialet är användbart och tycks ha en sortering som är snarlik den i det tekniskt keramiska materialet från platsen. Den ursprungliga platsen för materialet innanför det schaktade området är okänt, men det kan inte uteslutas att denna lera utgör rester efter en yttre fodring av stenschaktet. Denna har inte uppnått temperaturer över det som behövs för en omvandling till keramiskt material och har efter avslutningen av användandet av ugnen återfuktats. En annan möjlighet är att det är en rest av ett lerupplag från konstruktion eller renovering av ugnen.



Figur 8. Foto av torkande lerbriketter av ler/jordprov tagna intill L1945:9225 (tv) och L2022:10033 (th).

L2022:10033. Vid testtillfället var det tillskickade provet lätt fuktigt, smuligt och svartfärgat (Fig. 8 th). Färgen beror sannolikt på ett stort organiskt innehåll men inga rottrådar påträffades. Eftersom den ursprungliga fyndplatsen ligger någonstans inom det schaktade området kan det vara träkolsdamm från blästaktiviteten som har blandats in i leran. Det kan dock fortfarande också röra sig om en naturlig lerfläck i sandundergrunden med rikt humöst innehåll.

Provet bedöms som en dåligt sorterad, siltig/finsandig och sandig lera med flera upp till 8 mm stora stenfragment. De bedöms omedelbart som naturliga i materialet. Flera av dessa sandkorn avlägsnades innan testet av plasticiteten. Med tillsatts av en liten mängd vatten har provet en god plasticitet.

Materialet är helt klart användbart men har en sortering som tydligt avviker från den som observerats för leran som använts till det tekniskt keramiska materialet från platsen. Sten-förekomsterna av sandkornsstorlek är rundat kantiga – inte skarpa som det ses i fodringsfragment främst från L1945. Därför bedöms de i första omgången som naturliga. Med tanke på läget nära ugnen kan det dock inte uteslutas att sten-kornen härrör från blocken som använts för bygget av schaktet. Ursprunget för leran kan i likhet med det som ovan föreslogs för L1945 vara en yttre fodring som inte bränts. Sandkornen kan vara en förorening från miljön runt ugnen. En annan möjlighet är att det är en rest av ett lerupplag från konstruktion eller renovering av ugnen.

Eftersom lerfynden är av sekundärt deponerat material som ursprungligen har befunnit sig inom det schaktade området är det oklart om det rör sig om naturliga förekomster eller har anknytning till blästugns-anläggningarna. Med tanke på den lokala geologin dominerad av sand är det mest troligt att det i båda fall rör sig om obränd lera från konstruktionen alternativt en rest av lera som blivit över efter konstruktion/renovering av ugnen. Det är således möjligt att dessa prov visar på förekomsten av en yttre fodring som på grund av läget inte har bränts.

Vidare analyser

Petrografisk mikroskopering av fyra tunnslip av keramiska fragment från ugn och slaggvarp på L1945:9225 och fyra tunnslip från ugn och slaggvarp på L2022:10033; kemiska analyser (P-ED-XRF) av ytterligare fyra ugnsväggsfragment samt de två lerproven från de två blästplatserna och slutligen termisk analys av fyra ugnsväggsfragment har utförts för att vidare testa de makroskopiska slutsatserna ovan. Resultaten redovisas och diskuteras nedan.

Ugnskonstruktion

Registreringen har kunnat identifiera två huvudtyper av teknisk keramiska fragment som redan undersökningen i 1990 (Pagoldh 1990) pekade på: Fodring från ugnens insida och separat blästersköld/ugnslucka (Fig. 3).



Figur 9. Kant av blästerhål och förslaggad insida (övre tv) och rest av oxiderad bränd forma med slagg på utsidan (övre th) samt fragment av blästersköld(?) med oxiderad, uppsprucken utsida respektive förglasad, blåsig insida (nedre bilder) från P39 och P42 (övre) respektive P42 (nedre); A180, L1945:9225.

Bland fynden från L1945:9225 finns tydliga exempel på båda typerna. Identifierbara rester av blästersköld karakteriseras av rester av ett blästerhål/forma; en plan form och en värmegradient från en oxiderad utsida till en förglasad insida som vänder mot ugnens varmaste del. Två

sköldbitar och en möjlig forma har identifierats (Fig. 9). Fragmentet från P39 har en bevarad kant från ett blästerhål med en beräknad diameter på 5,5 cm medan forma(?) -fragmentet har en konisk form med en diameter från 3 till ca 5 cm. Dimensionerna är således ganska väl överensstämmande. Tyvärr saknas skala på fotot från 1990 av den halvt bevarade blästerskölden vilket omöjliggör en jämförelse av dimensionerna (Fig. 3). Ytterligare något fragment (bla. från P42) kan vara från en blästersköld bedömt utifrån värmegradienten. Ganska tydliga skillnader i mängden av spår efter organiskt material i fragmentens gods (jmf fig 6 th) indikerar att resterna härrör från flera olika blästersköldar. Övriga fragment från L1945:9225 tolkas som fragment av den inre fodringen av schaktet. Värmegradienten varierar från fragment med en förglasad insida följt antingen direkt av en oxiderad bränd zon eller med en mellanliggande reducerad zon. I andra fall är hela tjockleken reducerad bränd. Ett bra exempel på de varierande förhållandena är en helt bevarad 1,4 cm tjock fodring med slagg på insidan och fragment från stenschaktet på utsidan (Fig. 10). Ytan som legat an till stenväggen ses tydligt variera från oxiderad (under stenfragmentet) till reducerad bränd överst. Andra fragment har tydligt stenavtryck på utsidan (Fig. 11).



Figur 10. Utsidan av ett fodringsfragment från P39 (A180, L1945:9225) med fastsintrat stenschaktsfragment. Den varierande oxiderande-reducerande bränningsatmosfären för leran intill stenschaktet ses av den skiftande färgen (röd till grå).

Tjockaste fodringsresten med slaggkontakt är 27 mm tjock (Fig. 7 th) och helt igenom reducerad. Andra reducerade fragment med bevarad insida och stenavtryck som rimligen suttit något högre upp i schaktet är intill 17 mm tjocka.



Figur 11. Insida (tv) och utsida med stenvtryck (th) av reducerad, lågbränt fodringsfragment (P46, A489, L1945:9225).

Bland fynden från L2022:10033 har det inte varit möjligt att identifiera tydliga fragment från någon blästersköld. Ett fragment med påsintrad slagg (P5, A564) har en form (Fig. 12) som påminner om fragmentet tolkat som forma från L1945:9225 (Fig. 9 övr. höger) och den beräknade diametern på ca 6,5 cm är också snarlik, men leran är här reducerat bränd vilket stämmer dåligt överens med en forma-tolkning. Flera andra fragment (särskilt P15 och P16, fig. 5) har tydliga värmegradienter (Fig. 6 tv) från en förglasad insida med påsintrad slagg till en oxiderad brottyta och bör därför härröra från blästerzonen. En rimlig förklaring på oxideringen av fodringen utifrån är att denna del av schaktet inte har haft någon yttre lerfodring men endast ”skyddats” av en sandvall innanför trä-ramen. Fragmenten visar på att det i denna del av ugnen har funnits en minst 22 mm tjock inre fodring. Fragmenten i P19 och P24 (A180) är huvudsakligen mindre, reducerat, lågbrända bitar varav flera med bevarad insida med formningsspår (Fig. 13) och stenvtryck på utsidan (jmf fyndet från L1945, fig. 11). Tjockleken varierar mellan 13 och 17 mm. Precis som i den andra ugnen bör dessa fragment representera inre fodring något längre upp i schaktet och rimligen förutsätta ytterligare fodring eller annan form av skydd från syre från utsidan. Även från denna ugn finns fragment som demonstrerar en övergång mellan reducerande och oxiderande förhållanden på utsidan (jmf fig. 10).



Figur 12. Insida av möjlig forma fastsintrad på en slagglump (P5, A564, L2022:10033).



Figur 13. Insidor med formningsspår (tv) och utsidor med stenvtryck/brottyta (th) av reducerat lågbrända fodringsfragment (P19, A180, L2022:10033).

Ugnsfunktion

Registreringen visar att en del av fodringsfragmenten från båda platserna har tydliga värmegradienter från en förglasad insida – ofta med slagglagringar eller direkt fastsintrad på slagg – över en sintrad zon till en lägre bränd del som kan vara oxiderad eller reducerad. Det senare antas bero på var fragmentet har suttit i schaktet (se ovan).

De observerade förglasade zonerna i L1945:9225 är upp till 13 mm breda vilket sannolikt innebär att man kört ugnen minst två och sannolikt en hel del flera gånger med samma fodring. Det finns inga spår efter reparationer vilket rimligen innebär att man efter några körningar har rensat schaktet eller till och med ombyggt detta med ny fodring inför nya körningar. De reducerat brända fodringsresterna utan förglasning – och därmed utanför den centrala blästzonen – illustrerar att det har funnits en väl fungerande reducerande miljö i ugnen.

De observerade förglasade zonerna i L2022:10033 är upp till 14 mm breda, vilket tillsammans med den reducerade fodringen längre upp i

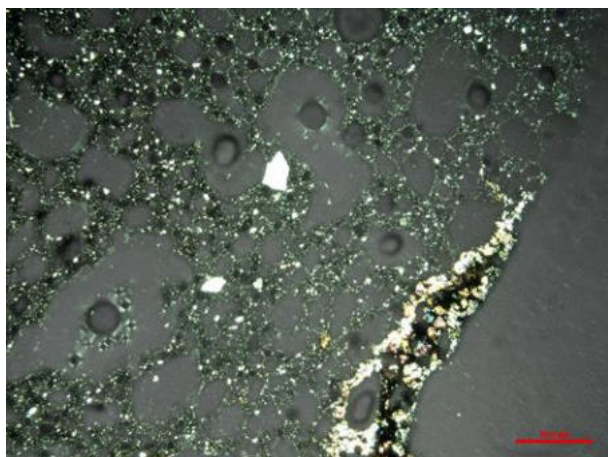
schaktet tyder på att denna ugn har använts på samma sätt som ugnen på L1945:9225. Det avvikande består i de två större slaggklumparna med upp till 20 mm tjock fodring med tydlig värmegradient i P15 och 16. De stora fragmenten med inslag av järn (Fig. 6 tv) som bör ha formats intill blästerzonen i den nedre delen av ugnen har ingen omedelbar motsvarighet i L1945. Detta skulle kunna betyda att slagggakana i L2022-ugnen formades något högre upp (se slagganalys och diskussion i denna rapport):

Ett par andra fynd från L2022:10033 illustrerar skador på ugnen under körningen. I en slaggklump från P21 (Fig. 14) har ett reducerat bränt fodringsfragment inbäddats. Mest sannolikt har det lossnat från fodringen i schaktet högre upp. Fodringsfragmentet har delvis inbäddats i senare slaggsträngar och har fläckvis sintrats med början till förglasning vid kontakten (Fig. 15). Jämfört med lertypens termiska beteende betyder detta att slaggen sannolikt haft en temperatur kring sintring/övergång till förglasning som beräknats till 1100-1200°C (se termiska analyser nedan). Ett stycke med kombination av slagg och reducerat, lågbränt fodring från L1945 (P49, A245) kan tolkas som en liknande situation i denna ugn.

Funktionsspåren på schaktfodringen pekar således på att ugnarna har fungerat/körts på samma sätt.



Figur 14. Genomskuret fodringsfragment med en formad insida till vänster, inbäddat i slagg och fläckvis sintrat (fina blåsor) från värmepåverkan från slaggen (P21, A489, L2022:10033).



Figur 15. Mikroskopifoton av utsnitt av Ts 21B (polerat slaganalysprov), L2022:10033, som visar en rest av den slaggbildning som förorsakat den anliggande delen av det keramiska fragmentet att sintra, bli blåsigt och börja att förglasa. Temperaturen kan anslås ha varit 1100-1200 grader C. X-pl.

Fynd från varpen

De keramiska fynden från varpen A245 på L1945:9225 och A564 på L2022:10033 är få till antalet och genomgående små. I A245, L1945:9225 (P46, P49, P54) rör det sig om totalt åtta mindre fragment (största 4,5 x 2,5 x 2,7 cm inkl. slag) av samma gods (fin lera, möjligen med växtmagring) som ses i de keramiska fynden från ugnen A489. Tydliga fragment av blästersköld saknas (i motsats till Älvros 75:2, Pagoldh 1990). I A564, L2022:10033 har bara två fragment påträffats (P5). Det ena är det misstänkta formafragmentet (Fig. 11) medan det andra verkar vara en fodringsdel från bläst-zonen. Båda består av en fin, siltig lera som även påträffas i ugnen.

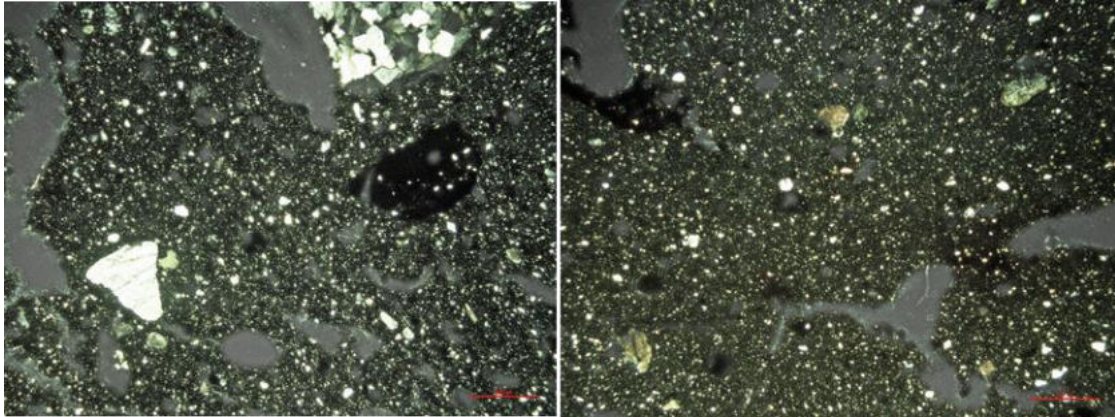
Analys – Petrografi, P-ED-XRF och Termiska analyser

Tunnslip (Ts) av totalt åtta fragment av ugnsvägg från de två platserna (Tab. 4) har mikroskopierats i ett polarisationsmikroskop. De detaljerade resultaten redovisas på dataark i bilaga 4. Här redovisas tolkningen av resultaten.

Tabell 4. Översikt över prov uttagna till vidare analys genom petrografisk mikroskopiering av tunnslip, kemisk analys med P-ED-XRF och Termisk analys.

Plats	Tunnslip	P-ED-XRF	Term. Analys
L1945:9225	Ts 1 A180, P39 C	Lerprov	A180, P41
	Ts 2 A180, P41 A	A180, P39 D	A245, P46
	Ts 3 A180, P42 B	A245, P54	
	Ts 4 A245, P46 A		
L2022:10033	Ts 5 L564, P5 A	Lerprov	A489, P19
	Ts 6 A489, P16 A	L564, P5 A	A489, P21
	Ts 7 A489, P18 A	A489, P24	A489, P24
	Ts 8 A489, P19		

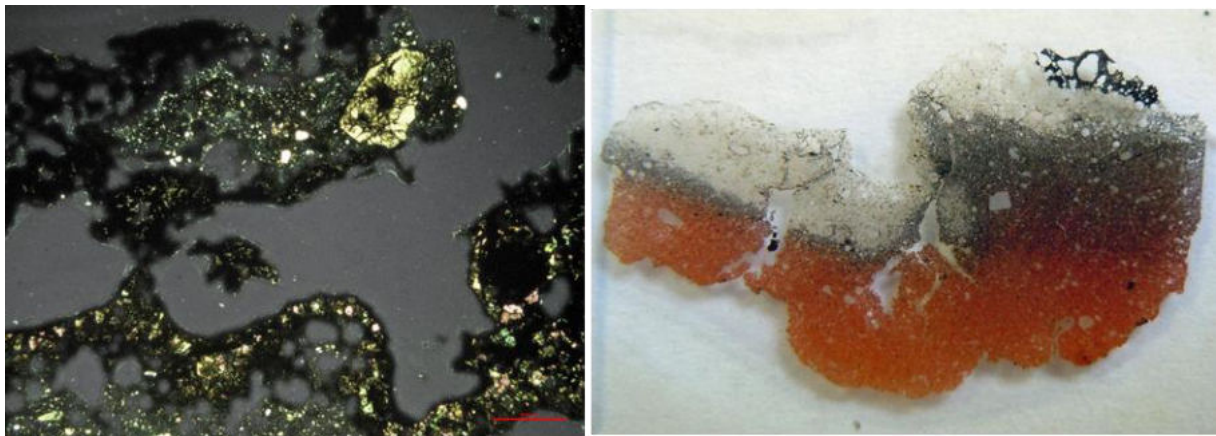
Ugnsväggsfragmenten från såväl ugn som slagghvarp inom L1945:9225 är gjorda av en mellangrov-grov, osorterad, kalkfri lera – mycket rik på silt (som inte går att uppskatta makroskopiskt- därav bedömningen av leran som fin), med en del finsand och enstaka sandkorn upp till en storlek på 2,6 mm (Ts 1, fig. 16).



Figur 16. Mikroskopfoton av utsnitt från Ts 1 (tv), L1945:9225 och Ts 8 (th), L2022:10033. X-pl.

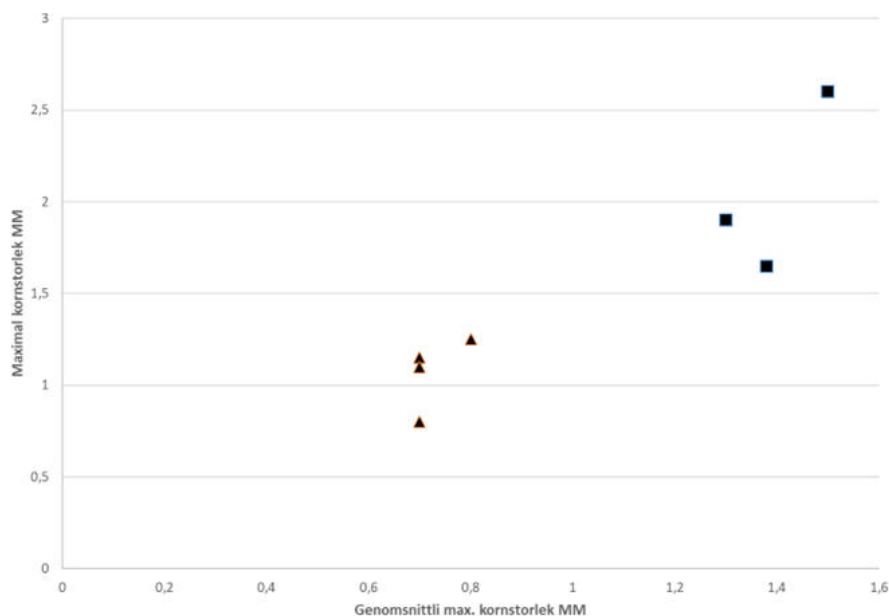
Mineralogin motsvarar det vi vanligtvis ser i kvartära ytlror med dominans av kvarts och olika typer av fältspat med ett inslag av små korn av malm-mineral och olika mörka mineral – bl.a. hornblende. Inga fossiler har observerats. För två prov – Ts 1 och 2 – där makroskopiska spår tydde på växtmagring kunde detta bekräftas av enstaka smala, upp till 5 mm långa hålrum i den lägst brända delen av proven. I den högre brända delen har liknande hålrum stängts av keramikens krympning under värmepåverkan – och det är således inte möjligt att göra en rimlig beräkning av mängden av tillsatt organiskt material. Skarpkantade bergartskorn med granitisk sammansättning (max kornstorlek 4,5 mm) observerades i Ts 4 där de var något oregelbundet fördelade i en lera som verkade sakna naturligt förekommande sandkorn av den typ som fanns i de övriga analyserade godsena. Den makroskopiska bedömningen ovan landade i att de observerade skarpkantade bergartskornen var för glesst förekommande för att kunna tolkas som en medveten magring utan var snarare förorening. Den beräknade mängden av dessa korn i Ts 4 är endast 6-8 %, vilket kan ses som ett argument för att det faktiskt rör sig om förorening men avsaknaden av naturligt förekommande korn av sand-storlek gör att det inte kan uteslutas att man justerat en något finare lera med en tillsats av lite krossmagring för att uppnå en vanlig konsistens. Samtidigt visar växtmagringen i proven Ts1 och 2 att ugnsbbyggarna inte var främmande för tanken om magring. Ts 21B (polerat slagganalys-tunnslip) representerar samma material som Ts 8 (P19) – jämför fig. 15 med fig. 16 th.

Det observerades inga spår efter lagning av ugnsfodringarna men däremot indirekta spår efter skador (Ts 2, fig. 17) i form av en rest av ugnsfodring som är inbäddad i slagglagret.



Figur 17. Mikroskopfoto (X-pl) av utsnitt av Ts 2 (tv), L1945:9225 som visar ett fragment av ugnsvägg som lossnat från en annan del av fodringen och bäddats in i slagglagret inkluderat i detta prov. Och th ett foto av provet Ts 5, L2022:10033 som visar en förskjutning i värmegradienten sannolikt efter en avspjälkning på ugnens insida.

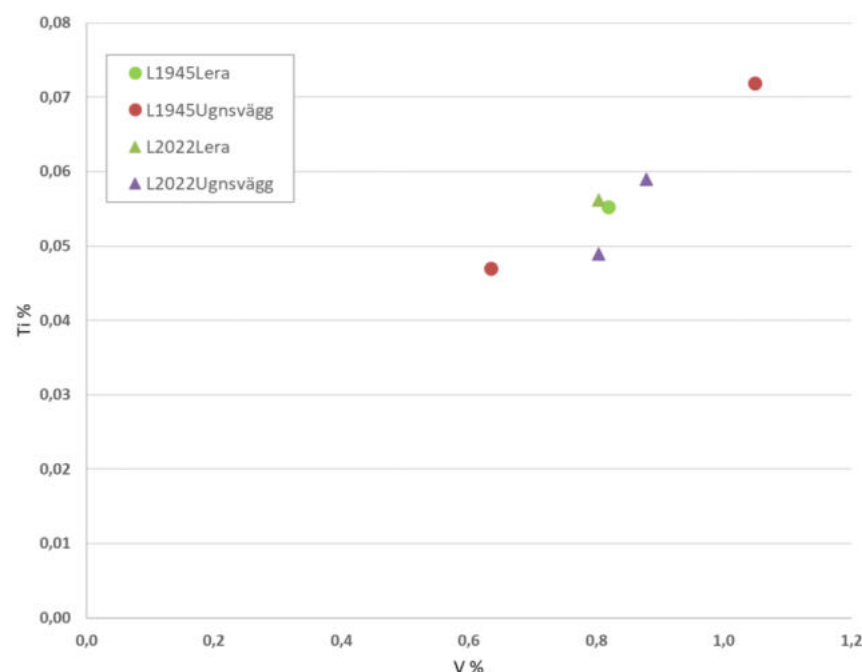
Mikroskoperingen av ett ugnsväggsfragment från slaggvarpet (Ts 5) och tre från ugnen A489 (Ts 6-8) på L2022:10033 visade på valet av en kvartär lera som i kvalitet och mineralogi är mycket snarlik den som användes på L1945:9225 (Fig. 15 och 16). Det finns en liten skillnad i sorteringen där sandkornen överlag är mindre i leran som använts på L2022:10033 (Fig. 18).



Figur 18. Diagram över maximal kornstorlek och genomsnitt för 5 näst största korn av naturligt förekommande icke-plastiskt material (mineral) i analyserade gods från L1945:9225 (fyrkant) och L2022:10033 (trekant).

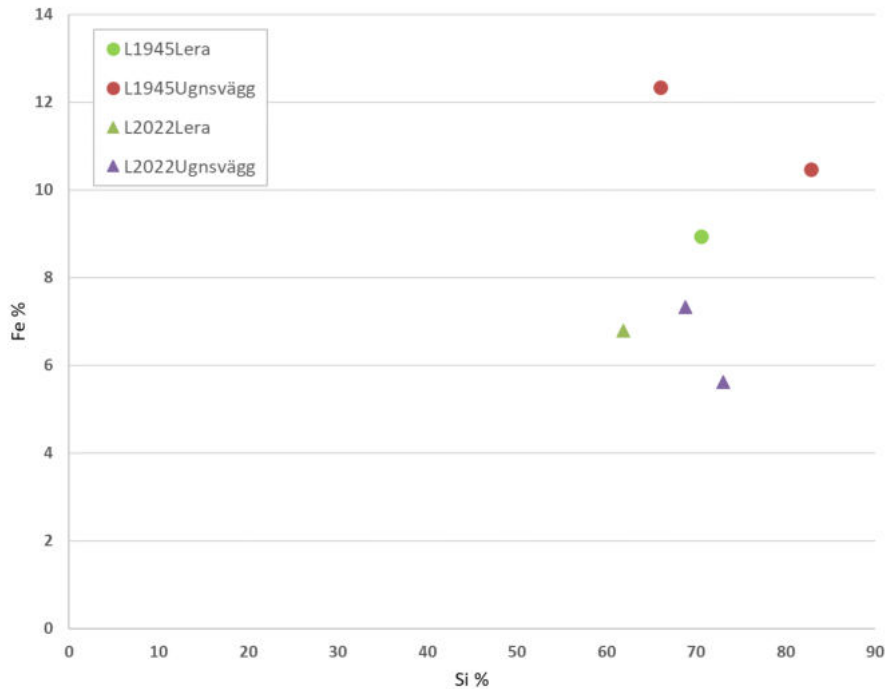
Det har dock inte haft någon betydelse för lerornas funktion som fodringsmaterial. De makroskopiska spår av porighet som observerades på enstaka fragment från L2022 kunde inte bekräftas som organisk magring i tunnslipen. De få skarpkantade magringskornen i Ts 8 är i detta fall tolkade som förorening på grund av mängd och koncentrationen i en mindre klump i en del av provet (inga liknande korn observerades i Ts 21B av det samma material). Inte heller här påträffades några spår av lagning av fodringen, men provet Ts 5 (Fig. 17 tv) hade en intressant förskjutning av värmegradienten som bäst förklaras med att en flis av insidan spjälkat av innan nästa körning av ugnen. Insidan av ugnen med en rest av slagg är uppåt i bild. Efter slaggresten följer en förglasad zon (grå), en sintrad, reducerad zon (svart) och en lägre bränd, oxiderad zon (röd). Samma gradient syns på en bredare och en smalare del av provet med en skarp kant emellan. De två delarna av provet har således utsatts för samma termiska påverkan trots den ojämna profilen som knappast är ursprunglig.

Den kemiska analysen med hjälp av P-ED-XRF på två lerprov och fyra fragment av ugnsvägg (Tab. 4) bekräftade att lerorna som användes till schaktfodring och lucka även kemiskt är likartade med samma ursprung. Förhållandet mellan titan (Ti) och vanadin (V), som alltid är positivt korrelerat men kan variera i koefficient (lutning) om lerorna har olika ursprung, visar här att såväl de brända proven från båda ugnarna som de torkade lerproven bör komma från samma geologiska bildning (Fig. 19).



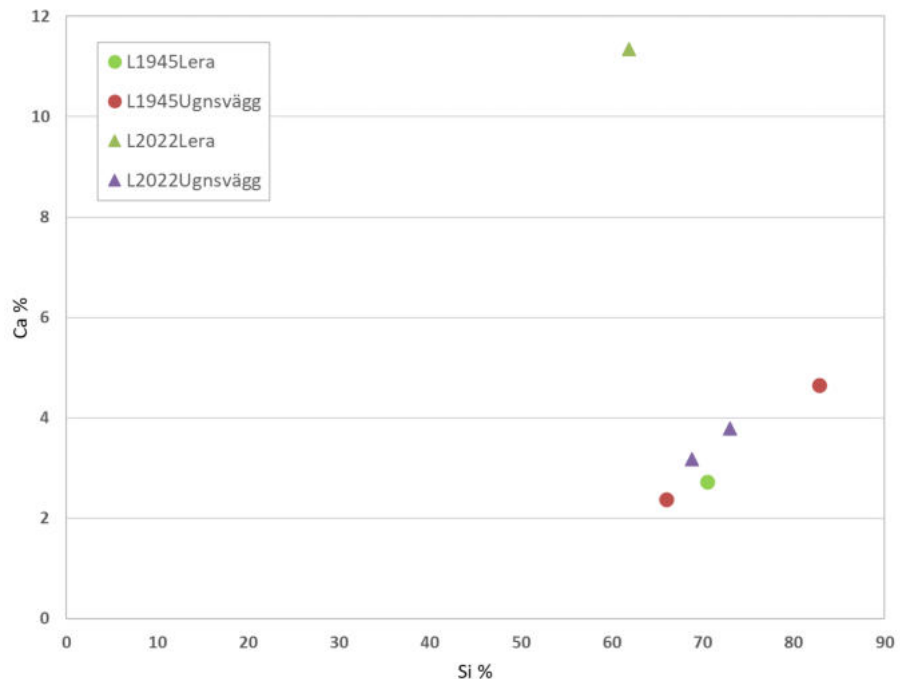
Figur 19. Diagram över halten av titan (Ti) och vanadin (V) mätt med P-ED-XRF i analyserade gods och lerprov från L1945:9225 och L2022:10033.

Det finns dock även mindre skillnader, som t.ex. att leran som använts på L1945 är rikare på järn (Fig. 20).



Figur 20. Diagram över halten av kisel (Si) och järn (Fe) mätt med P-ED-XRF i analyserade gods och lerprov från L1945:9225 och L2022:10033.

Generellt har lerproven samma kemiska sammansättning som lerorna vilka använts till schaktfodringarna. Lerprovet från L2022 avvek dock genom att vara tydligt kalkhaltigt (Fig. 21). Detta gör det omedelbart mindre lämpligt som råmaterial till en högttemperaturanläggning då kalken fungerar som flussmedel vilket medför en lägre smälttemperatur som kunde betyda skador på fodringen. En kalkhaltig lera skulle dock kunna fungera utmärkt till en yttre fodring av ett stenbyggt schakt eftersom detta lager aldrig skulle brännas och dessutom var mera väderbeständigt. Eftersom vi inte känner till lerbeförekomstens ursprungliga läge inom utgrävningsområdet är detta självklart rent hypotetiskt. Oavsett denna fråga får vi den intressanta informationen att det finns kalkrikare lerbeförekomster i området, som ugnsbyggarna bör ha tagit hänsyn till och tydligen undvikit när de valde lera till fodringen.



Figur 21. Diagram över halten av kisel (Si) och kalk (Ca) mätt med P-ED-XRF i analyserade gods och lerprov från L1945:9225 och L2022:10033.

Den termiska analysen av två ugnsväggsfragment från L1945:9225 och tre fragment från L2022:10033 visade på små variationer i ”Thermo Colour Test”-delen. Proven 41 och 46 från L1945 och 21 från L2022 hade nästan identiska färgutvecklingar enligt bestämningen med Munsell Soil Colour Chart. De två resterande proven – 19 och 24 – från L2022 avvek genom att bli något ljusare och mindre röda vilket sannolikt beror på en lägre andel järnoxid i leran. Även när det gäller sintringsdelen av analysen, där godsens egenskaper testas vid temperaturer från 1000 grader Celcius fram till smält-punkten, har proven snarlik reaktion. Mellan 1000 och 1050°C sker en tydlig ändring i färgutveckling som tecken på början av sintringsprocessen; vid 1150°C har en förglasning av utsidan påbörjats och provet krymper; vid 1250°C börjar leran svälla och vid 1350°C är samtliga prover smälta. Samtliga prover följer således ett vanligt sintringsintervall för kvartära leror och har en standardvärmefasthet. Det enda som skulle kunna vara ett problem för dessa leror är att de innehåller en del järnoxidkoncentrationer som i tunnslipen kan ses ha smält tidigare än den omgivande leran. Större järnkoncentrationer skulle kunna ha varit försvagande men eftersom det bara rör sig om en fodring av ett i övrigt stenbyggt schakt har det inte utgjort något stabilitetsproblem. På flera prov ses tydliga sprickbildningar som rimligen kan ha uppstått när den mest värmepåverkade delen har utsatts för temperatur över 1000 grader C men ingen av de observerade sprickorna tycks ha gått helt igenom fodringen. Prov 21B som är ett avspjälkat fodringsfragment som fallit ner i varm slagg under processen var delvis sintrat och hade börjat förglasas i en av

kontaktytorna med slaggen (Fig. 14 och 15). Utifrån den termiska analysen av lerans sintringsintervall visar det på att slaggen bör ha haft en temperatur mellan 1100 och 1200°C vid tillfället. Temperaturen bör då relativt snabbt ha sjunkit under topptemperaturen så att bara en liten del av ugnsväggsfragmentet påverkades.

Ugnarnas konstruktion och funktion

Jämförelse mellan de två Älvros-ugnarna på L1945 och L2022

Studien av de tekniskt keramiska resterna från båda ugnarna visar främst på överensstämmelse i konstruktion av schakten, valet av lera till fodringen och i användningen av ugnarna. Skillnaderna består i lerornas lite olika sortering (vilket endast betyder att de inte hämtats från samma lertag) men främst i användning av växt- och eventuellt stenmagring på L1945 vilket inte kunde påvisas bland materialet från L2022. De två ugnarna kan utifrån C-14-dateringarna anses ha varit i användning ungefär samtidigt åtminstone i den senare fasen som fynden från ugnen rimligen tillhör. Därför tyder de lite olika teknologiska valen på att användarna kan ha utgjort två separata grupper med i huvudsak samma teknologiska tradition men med lite olika uppfattningar om vad som utgör den bästa lerblandningen att använda till blästersköld/ugnslucka och fodring. Detta talar för att de olika ugnarna i detta område handhades var för sig av olika grupper/familjer/gårdsenheter i samhället.

Jämförelse med Älvros 75:1 och Rätansböle

Jämförelsen med dessa två platser valdes från början som utgångspunkt för registreringen av de två nya platserna. Utifrån beskrivningarna i rapporten från utgrävningen av Älvros 75 (Pagoldh 1990) och av materialet från Rätansböle i GAL-rapporten (Grandin & Ogenhall 2017) har användningen av lera till fodring och blästersköld varit densamma som i de två här analyserade ugnarna. Idén om sandmagring av Älvros 75-fodringar blir lite mera sannolik som en följd av det sandmagrade fragmentet RTK2 från blästplatsen vid Rätansböle. Det antyder att det i ”verktygslådan” för ugnskonstruktionsteknologin bakom dessa sten- och lerbyggda ugnar fanns möjligheten att vid behov magra den grova leran som utgjorde det basala materialvalet. Åtminstone i det ena fallet från L1945:9225 tycks det ha varit blästerskölden som tillfördes magring. Det verkar fullt logiskt att leran till detta största stycka teknisk keramik, som skulle formas som en egen enhet i motsats till fodringen inuti (och kanske utanpå) schaktet, ansågs behöva magring. Denna magring kunde i övrigt bestå av växtmaterial, krossat bergart eller fin sand *ad libitum*. Gruppen som byggde L2022:10033 ansåg sig dock inte behöva använda detta ”verktyg”.

Sammantaget styrker det bilden av en grundläggande, gemensam konstruktions- och brukstradition för områdets stenbyggda ugnar men med utrymme för mindre (allmänt kända) tillägg/variationer som de olika grupper som drev ugnarna kunde använda vid behov.

Diskussion och konklusioner

Den sten- och lerbyggda ugnstypen finns sporadiskt redan under förhistorisk tid (Englund m.fl. 1999) och förefaller vanligt förekommande från sen vikingatid/tidig medeltid runt omkring i Sverige (Englund 2002, 189ff; Grandin & Stilborg 2021). Vad som föranledde skiftet från ett huvudsakligen lerbyggt schakt (dock ofta med nedre stenram) till ett mestadels stenbyggt schakt är en i stora delar o-avklarad fråga. Rent praktiskt betyder den stora massan av stenar ett, i förhållande till lerschakts-ugnar, ökat behov av energi för att få schaktet tillräckligt varmt så den nödvändiga process-temperaturnivån kan nås. Å andra sidan bör den ackumulerade värmen i stenväggen ha underlättat arbetet med att hålla den höga temperaturen i ugnen under reduktionsprocessen. En möjlig orsak till bygget i sten skulle kunna vara brist på tillräckligt bra lera att bygga av, men dels har man löst dessa problem i nordligare delar av Skandinavien med dålig tillgång på lera dels sker skiftet till stenbyggnation även i Sveriges södra delar med god tillgång på lera. En fördel med ett stenbyggt schakt bör ha varit att det kunde stå stabilt och funktionellt över en längre period med ett begränsat underhållsbehov. Särskilt övervintringarna var avgörande för hållbarheten. Om ombyggnation behövdes kunde dessutom en större del av stenarna säkert återanvändas vilket reducerade arbetsbördan.

Experiment med en ugn med stenbyggd schakt har utförts av Lars-Erik Englund (2002, 213ff). Detta resulterade i noteringen av några intressanta detaljer:

- Att stenarna i vissa fall behövde tillmakas för att passa.
- Att stenarna fogades samman med lera (dvs snarare en lerbruksstenmur än en torrmur).
- Att insidan fodrades med magrad lera för att undvika sprängningar vid uppvärmningen.
- Att förvärmningen av ugnen tog ca ett dygn med ökande intensitet (Mängden bränsle som gick åt uppges inte).
- Att ugnens blåsvägg (motsvarande luckan i Älvrosugnarna) och den nedre tredjedelen av schaktets insida hade förslagats efter en lyckad körning medan den mitterste tredjedel var rödbränd och den översta verkade opåverkad (med hänsyn till färg).

Bland det keramiska fyndmaterialet från blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033 hittades inga fragment som verkar ha suttit mellan de platta stenarna. Samtidigt förefaller mängden reducerat bränd fodring – särskilt i L2022:10033 – vara klart större än den var i experimentugnen vilket tyder på att schaktväggen var tätare i ugnarna från Härjedalen. I L2022:10033 är det i stort sett enbart leran bakom större slaggansamlingar och då rimligen hemmahörande i ugnens nedre del nära blästerzonen som är oxiderade medan resterna av den tunnare fodringen längre upp är reducerat brända. Detta stödjer tanken att det också kan ha funnits en yttre fodring/tätning som också profilen från Älvros 75:1 tyder på. Möjligen kan sandfyllningen runt schaktet ge tillräcklig skydd mot oxidering men det är en fråga som bara experiment kan lösa tillfredsställande. Oavsett lösningen på den senare frågan om

yttre fodring/sand kan processen i ugnarna från Härjedalen ha varit effektivare än i experiment-versionen av Tranemo-ugnen (jmf slagganalyserna).

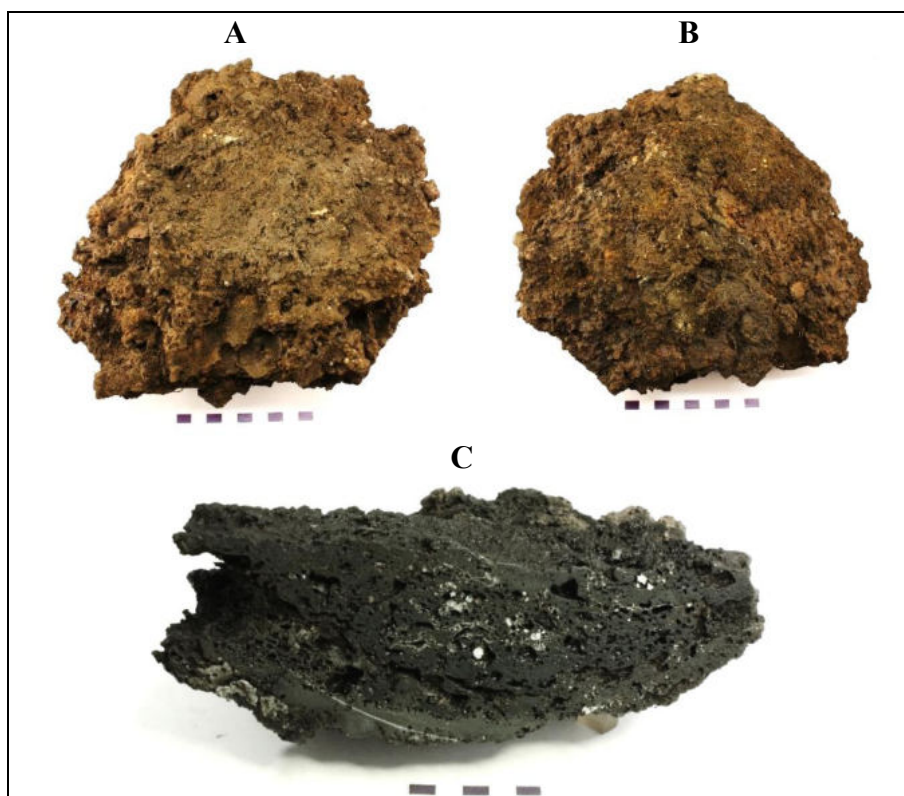
Det finns inga spår efter reparation av den invändiga fodringen av schakten. Om det fanns en utvändig fodring uppnådde denna inte en temperatur som skulle kunna omvandla leran till keramik och det kan därför inte avgöras om denna del lagades efter kraftiga regn och/eller vid inledningen av en ny användningsperiod för ugnen. Det kalkhaltiga lerprovet från L2022 skulle kunna vara en rest av en yttre fodring och valet skulle kunna förklaras med att kalkhaltig lera är mera väderbeständig och därmed vara kvar efter vinterns härjningar.

Det verkar osannolikt att de sten- och lerbyggda schakten har rivits och ombyggt efter varje körning som föreslagits av Pagoldh (Pagoldh 1990, 12). Dels visar tjockleken på den förglasade zonen på flera fragment att flera körningar ägt rum, dels pekar förekomsten av en separat lucka på att man velat kunna ta ut järn och slagg utan att göra åverkan på schaktet. Dock ses inga spår efter lagning av insidans relativt tunna fodring vilket talar för att man faktiskt byggde om hela schaktet när renovering behövdes. Det kan inte heller uteslutas att man kört samma sten- och lerbyggda schakt under hela användningsperioden och vad angår lerdelen endast ibland bytt skölden/luckan när så behövdes. Den nästan hela skölden/luckan från Älvros 75 hittades i varpet och även de andra – som det verkar – få fynden av bränd lera i varpkontexterna skulle kunna härröra från liknande objekt.

Om skölden i sig har krävt 2 kilo och rester av en yttre fodring inte påträffats ger överslaget ett behov på minst 4-5 kilo lera. Fem till 10 kilo är då ett rimligt mått för hur mycket de behövde hitta. Det är ingen stor mängd som har kunnat transporteras en bra bit utan några stora problem. Trots det har man säkert uppskattat en råmaterialkälla så nära som möjligt. Studier av skogshistorien i området tyder inte på att tillgången till kolningsbart timmer har varit något problem i dessa trakter (Antikvarie K. Jonsson, JAMTLI, pers. medd.). Närhet till stenmaterial, följt av närhet till malmen verkar vara en rationell strategi för dessa ugnar.

Slagger

Slagger som har insamlats från de olika kontexterna uppvisar några övergripande morfologiska drag som har medfört indelning i några undertyper. Dessa slaggtyper (här benämnda typ 1, 2 och 3) är insamlade från ugnar och/eller slaggvarp (Fig. 1–2, Tabell 1–2). Den slaggtyp som här beskrivs som typ 1 motsvarar sannolikt slagkakorna av typ 1 som beskrivs av Pagoldh (1990, s. 7). Typ 2 i denna rapport överensstämmer formmässigt med Pagoldhs beskrivning för en tredje, mindre vanlig, ”ormande och korvande” slaggtyp. Slaggtyp 3 i föreliggande rapport har likheter med de tyngre blågröna slagger av typ 2 som beskrivs från såväl RAÄ 75:1 som RAÄ 78:1 (Pagoldh 1990.)



Figur 22. Bottenslagg, P20 från ugn A489 (L2022:10033). A: sedd ovanifrån med en skålformad trögfluten yta. B: bottenytan med tunnare stearinformade, flutna, slaggsträngar. C: delat tvärsnitt med en skiktvis uppbyggd slagg skillnader i porositet. Metalliskt järn förekommer främst i de centrala delarna (ljusa, blänkande fläckar och strimmor).

Slaggtyp 1

Slagg **typ 1** utgörs av större, tämligen trögflutna, bottenslagger, eller delar av denna typ. Ett exempel är påträffat *in situ* i ugn A489 (L2022:10033). Denna slagg (P20) är bland de största, och tyngsta, i det insamlade materialet. Den väger ca 4,2 kg är oval i plan, ca 30×25 cm stor. Tjockleken är som mest 8 cm. Bottenslaggen har tunnare stearinformade, flutna, slaggsträngar längs bottenytan men mer trögfluten slagg på överytan. I delat tvärsnitt ses en skiktvis uppbyggd

slag (Fig. 22). Skikten avgränsas av skillnader i porositet och metallförekomst, men slaggens sammansättning förefaller vara homogen, vilket också framkommer i analysen under mikroskop av tunnslipsprovet. I nedre och övre delen är slaggen tät och fri från metall, däremellan är den porösare och med insprängt metalliskt järn, mestadels i små formationer.

En ännu större bottenslagg (*P1*) från samma lokal kommer från slaggvarpets (A564) övre del. Denna slag är avlång och trögfluten slag ses i kärnan, mer stearinformad längs kanterna (med kolavtryck upp till 4 cm) och delvis längs bottenytan (med små inkapslade lerfragment).

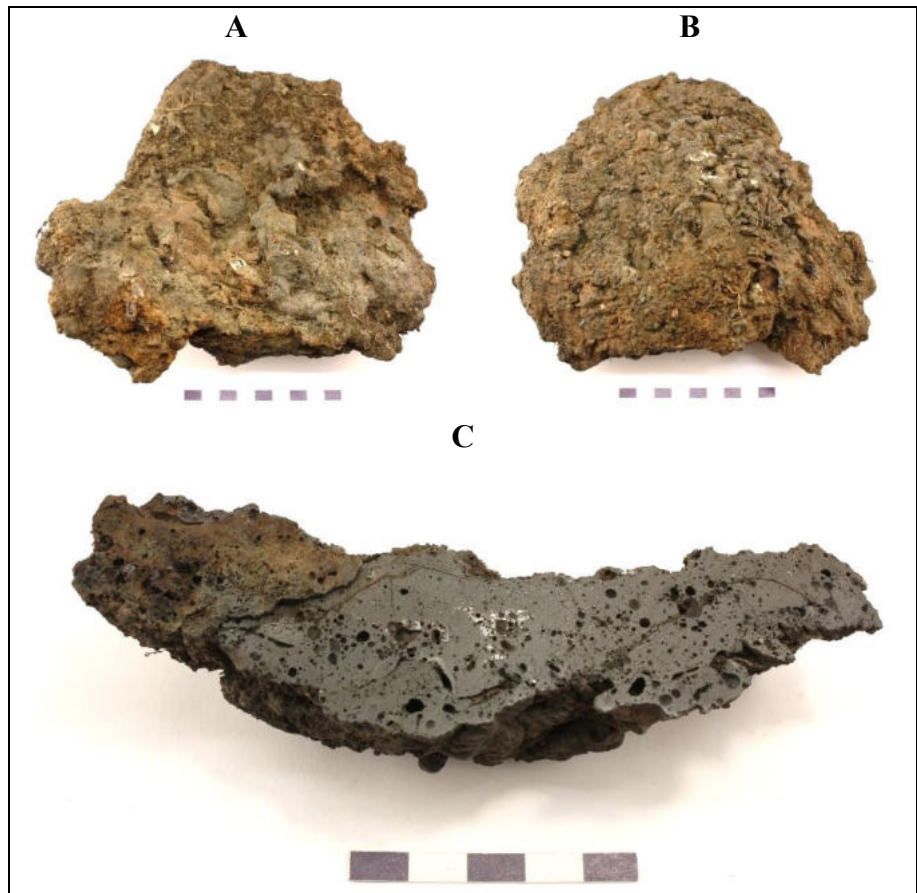
Något mindre dimensioner ses i en slag (*P7*) från samma lokals slaggvarp (564). Denna slag är dock inte en intakt bottenslagg. Den har i allmänhet en tjocklek på 6 cm men når lokalt 10 cm. På bottenytan av denna slag finns dessutom ett fåtal fragment av gråbränd lera (jämför analyser av P21A där lerfragment är inkapslade i en slag) och den har rikligt med inkapslade kolstycken (Fig. 23). Analysen under mikroskop visar också att det finns ansamlingar av metalliskt järn bl.a. i anslutning till kolstyckena. Slaggen varierar något i sammansättning jämfört med den i P20.



Figur 23. Bottenslagg, *P7* från slaggvarp (L2022:10033). A: sedd i profil med stearinformade slagsträngar på ytan. B: delat tvärsnitt med porig slag med inkapslade kolstycken och ansamlingar av metalliskt järn.

Större bottenslagger (typ 1) finns också rikligt företrätt i slaggvarpet A245 vid L1945:9225. Exempelvis *P57* och *P58* från varpets övre del. *P57* (Fig. 24) domineras av slag som är uppbyggd av flera tunnare slagglöden men är homogen i sammansättning. Den har endast ett fåtal (centralt) större ansamlingar av metalliskt järn (<5 mm) men rikligt med finfördelade små droppar (<< 1 mm) av samma. Kolstycken förekommer sparsamt.

Slagg *P58* är också tämligen homogen, men i denna finns en stor mängd (finfördelat) metalliskt järn i nedre halvans porösa slag (Fig. 25). I övre halvans tätare slag finns ett fåtal (större) ansamlingar av järn (10–20 mm). Även tunnare strimlor av järn förekommer, delvis som en tunn ytterkant på kolstycken i slaggen.



Figur 24. Bottenslagg, P57 från slaggvarp A245 (L1945:9225). A: sedd ovanifrån med en skålformad trögfluten yta. B: bottenytan med tunnare stearinformade, flutna, slaggsträngar. C: delat tvärsnitt med en homogen uppbyggd, tät, slagg. Metalliskt järn förekommer endast i liten mängd.



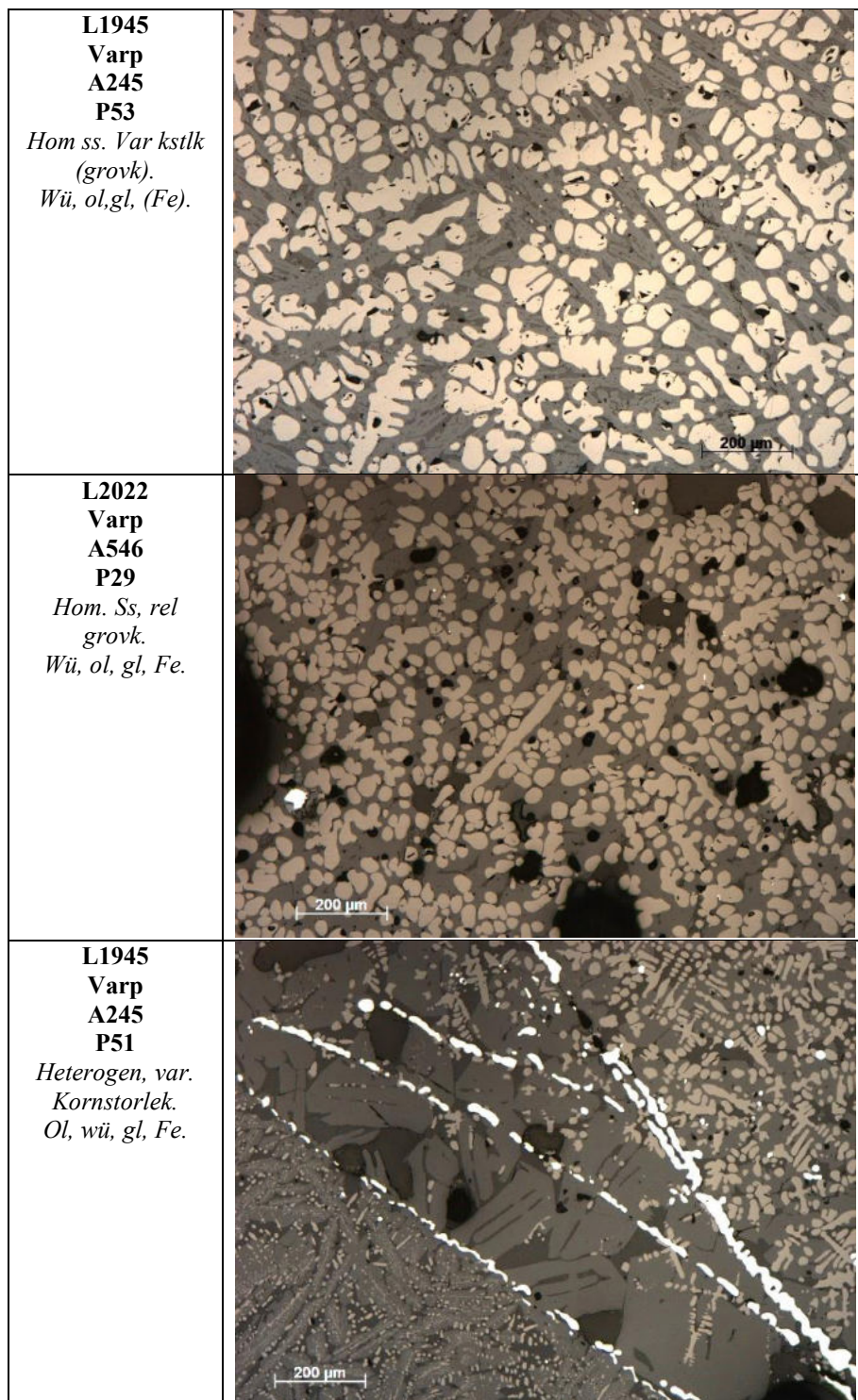
Figur 25. Bottenslagg, P58 från slaggvarp A245 (L1945:9225). Delat tvärsnitt med en homogen uppbyggd, porig, trögfluten slagg. Metalliskt järn förekommer rikligt och i en större ansamling i nedre vänstra delen.

Även P29 från slagghvarp A546 omfattar delar av ursprungligen större bottenslagger, med trögflutna ovansidor (röda), och stearinsträngar mot botten. I tvärsnittet framträder en slag som är homogen i sammansättning, mestadels porös, eventuellt något tätare nära botten. Den innehåller några större ansamlingar av tätare metalliskt järn, både centralt i kärnan och nära överytan. I övrigt förekommer finfördelade små järndroppar tämligen rikligt.

Den rikliga förekomsten av metalliskt järn, antingen som tunna strimlor, även i kanten av kolstycken, eller i större ansamlingar av tätare järn är återkommande i många av dessa större bottenslagger. Reduktionen av malm till metall förefaller därmed ha skett även i slaggen vilket antyder att denna, åtminstone delvis, har befunnit sig inom den förväntade positionen i ugnen där malmen reducerades till metall. Det är delvis beroende på temperaturen men också omfånget på zonen där reduktionen sker. Reduktionen till de små tunna slirorna av metall förefaller ha skett till viss del under den zon där den huvudsakliga reduktionen skedde. För de metallförekomster som ses nära kolstycken kan det också röra sig om en reduktion av järnoxid begränsad till kolstyckenas omedelbara närhet.

Tabell 5. Analyserade slagger av typ 1 från L1945:9225 och L2022:10033.

Lokal	A/L	Kontext	Prov nr	Analys
<i>L1945:9225</i>	180	Ugn	P45	ICP, Tunnslip
	245	Slagghvarp (ugn)	P53A	Tunnslip
	245	Slagghvarp (ugn)	P57	ICP, Tunnslip
	245	Slagghvarp (ugn)	P51	ICP, Tunnslip
	405	Slagghvarp (fällsten)	P64	ICP, Tunnslip
<i>L2022:10033</i>	489	Ugn	P20	ICP, Tunnslip
	489	Ugn	P21A, B	ICP, Tunnslip
	564	Slagghvarp (ugn)	P2	ICP, Tunnslip
	564	Slagghvarp (ugn)	P7	Tunnslip
	546	Slagghvarp (fällsten)	P29	ICP, Tunnslip
	546	Slagghvarp (fällsten)	P35	ICP, Tunnslip

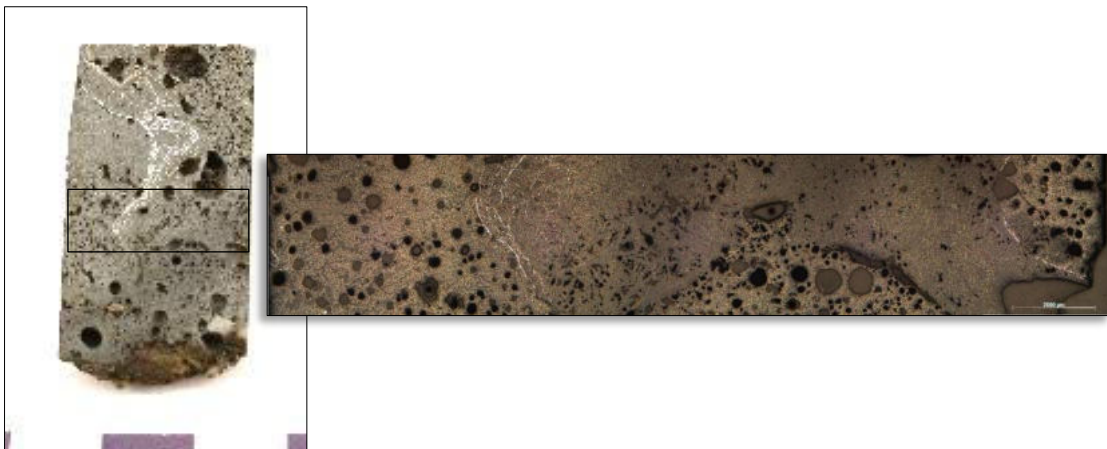


Figur 26. Foton från mikroskopet (skalstreck 200 mikrometer) med exempel på två slaggar (P53 och P29) från respektive plats som är homogent uppbyggda, grovkorniga och innehåller mycket wüstit (ljusa, rundade former). En tredje slagg (P51) är ojämnare med varierande sammansättning (Se detaljer och förkortningar i bilaga 5).

Analyser

Från *analyserna* av tunnslipen under mikroskop framträder också många likheter i dessa bottenlagger (Fig. 26, detaljer i bilaga 5). De som har analyserats (Tab. 5 och 6) är alla grovkorniga vilket visar att de har kylts av långsamt i ugnen (slagguppsamlingsdelen). De flesta är homogent, eller tämligen homogent uppbyggda, som P53 och P57 från slagghvarp A245 (L1945), samt P20 (även om järnförekomsten är ojämn), P21 (som inledningsvis fördes till slaggtyp 2), P29 och P7 (L2022). I de flesta av dessa dominerar grovkornig wüstit, med mindre mängder olivin och en glasfas. I P7 är dock wüstitmängden något lägre och följaktligen olivinnmängden något högre. P7 har inte analyserats kemiskt, men i övriga återspeglas den höga wüstitmängden i en hög totalhalt järn (mestadels > 80% Fe_2O_3 i tabell 7:1 i bilaga 7) och relativt låg halt av SiO_2 (ca 10–18 %). Detta skiljer dem från de flutna slaggerna i slaggtyp 2 som är rikare på olivin och har lägre Fe_2O_3 (< 70%) i kombination med högre SiO_2 -halt (> 27%) (se nedan). Några av dessa har även en högre halt av mangan, något som utvärderas ytterligare i bilaga 7, och tyder på att de använda malmerna kommer från fler malmtäkter.

Några slaggar är heterogenera i sin uppbyggnad och delvis skiktade, vad gäller porositet och/eller kornstorlek och sammansättning. Bland de analyserade ses detta i P51 från slagghvarp A245 (L1945) och P2 från slagghvarp A564 (L2022). Dessa båda har dock likartade totalhalter av järn (som Fe_2O_3) som de mer homogent uppbyggda slaggerna (Fig. 27).



Figur 27. P2 från slagghvarp A564 på L2022:10033. Till vänster den del som har analyserats under mikroskopet där flera tunna, ljusa sliror av metall ses i den mörka slagen. Till höger foto från mikroskopet tvärs över snittet som ger samma komplexa bild i mikroskala.

Tabell 6. Sammanfattning (från tunnslipsanalyser) av slaggenas textur, kornstorlek och mineralförekomst, uppdelat i några grupper.

Lokal	Typ 1 Grovkornig, homogen, wüstitrik	Typ 1 Grovkornig, komplex, wüstitrik	Typ 1 Grovkornig, homogen, olivinrik	Typ 2 Finkornig, homogen, olivinrik
L1945	P53	P51		P45
	P57			P64
L2022	P20	P2	P7	P35
	P21			
	P29			

Som noterats vid delning av slaggen varierar också förekomsten av metalliskt järn. Tunnslipen är delvis valda för att täcka in slaggen med mycket såväl som lite metalliskt järn. I P7 förekommer endast små mängder, medan det i P2 och P51, samt i delar av P20 förekommer större ansamlingar, speciellt i den övre delen (omgivande slaggen är dock likartad i nedre och över delen).

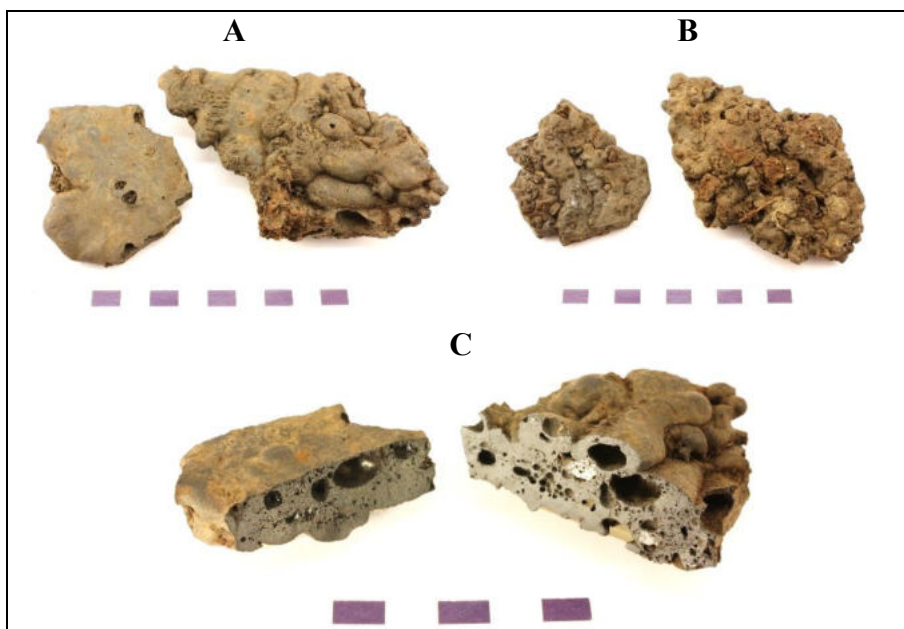
Bottenslaggen P20, som påträffades in situ i ugn A489 på blästplatsen L2022:10033, och den andra slaggen (P21) från samma ugn som är mer stearinformad på ytan (se mer om slaggtyp 2 nedan), uppvisar samma porositet, mycket likartad mineralförekomst samt likartad kemisk sammansättning (se detaljer om kemi nedan, i bilaga 7). Såväl den kemiska likheten (bl.a. högt manganinnehåll) i båda i kombination med att de påträffades i ugnen gör att det är rimligt att de är från samma körning av ugnen, dessutom den sista. De ger därmed också en bra bild av den (marginella) variation som kan förekomma inom en och samma körning, samtidigt som de skiljer sig från övriga slaggen i studien – från andra körningar och med andra malmer (med betydligt lägre manganinnehåll). Detta behandlas mer detaljerat i stycket om slaggenas och malmernas kemiska sammansättning.

Slaggtyp 2

Typ 2 utgörs av stearinformade, mer flutna slagger. Tunnare stearinformade slaggstängar förekommer som yttre delar av flera av de större bottenlaggerna (i typ 1) varför båda typerna förefaller ha bildats under samma process. Men från de flesta kontexterna förkommer även mindre mängder av slagger bestående främst av flutna stängar.

Exempel på denna typ finns i P64 från slagghvarpet A405 (vid fällstenen) på blästplatsen L1945:9225. I provet finns tunna platta, stearinformade slagger, som mestadels är uppbyggda av många tunnare slaggstängar (Fig. 28). Bland dessa finns de som har skinn på ytan som visar att de har stelnat i ytskiktet, men varit flytande och rört sig under ytan. Några av bitarna i P64 har plana avtryck som antyder att de kan ha stelnat mot stenar vilket skulle tala för en bildning (i varmt tillstånd) som snarare talar för ugnen än vid fällstenen där de är påträffade.

Två av de tunna, flutna slaggen i P64 som är uppbyggda av flera stearinformade slaggstängar har delats och tvärsnitten studerats. Slaggen i delprov A (som också är analyserad) är ca 15 mm tjock. I snittet ses flera flöden i nedre halvan (snabbare avkylda) och ett större slagglöde (långsammare avkylning) med enstaka större hålrum i övre. Inget metalliskt järn kan ses med blotta ögat. Delprov B, som är något tjockare (ca 20 mm), har likartad uppbyggnad med flera åtskiljbara slaggstängar i nedre delen och ett större slagglöde i den övre. Denna slaggen innehåller dock såväl större ansamlingar som små droppar av metalliskt järn, men i betydligt mindre omfattning än i slaggen i typ 1.



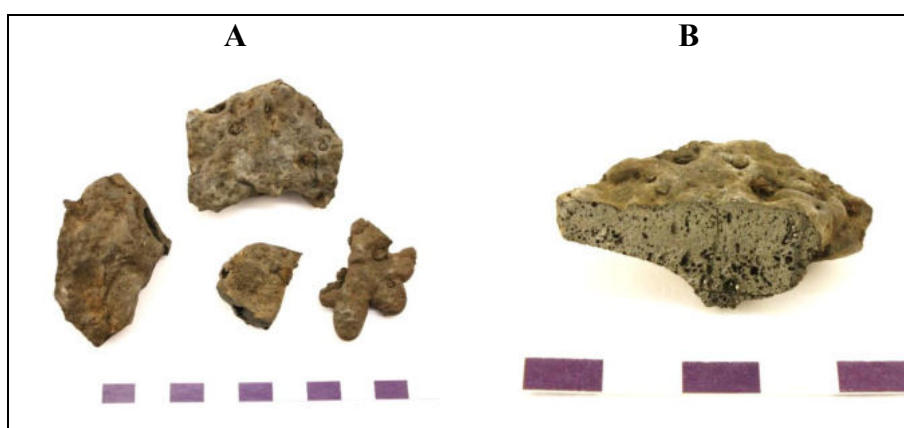
Figur 28. P64 A och P64B från slagghvarp A405 vid fällstenen på blästplatsen L1945:9225. Tunna slagger, uppbyggda av flera små slaggstängar. A: ovansidan med skinn på ytan som visar att de har stelnat i ytskiktet, men varit flytande och rört sig under ytan. B: undersidan C: I tvärsnitt där P64A (som har analyserats), till vänster, kan inget metalliskt järn ses med blotta ögat, medan P64B, till höger, har en större ansamling av järn.

Små droppar och tunna stearinformade tunna slaggsträngar (Fig. 29) förekommer också, t.ex. P65, från slaggvarpet A405 (vid fällstenen) på blästplatsen L1945:9225.



Figur 29. P65 från slaggvarp A405 vid fällstenen på blästplatsen L1945:9225. Exempel på små slaggdroppar och stearinformade tunna slaggsträngar.

Även från slaggvarpet A546, vid fällstenen, på lokal L2022:10033, finns exempel på stearinformade slaggar, även relativt platta och tunna likt i P35. De båda slaggvarpen tangerar dock varandra varför det är möjligt att slaggen i varpet vid fällstenen kan ha inslag från slaggvarpet vid ugnen. En av de tunna, flutna slaggerna med flera urskiljbara slaggsträngar på ena sidan visar i delat tvärsnitt en homogen och mestadels småporig slagguppbyggnad (Fig. 30). Precis som i P64A kan metalliskt järn inte ses med blotta ögat.



Figur 30. P35 från slaggvarpet A546, vid fällstenen, på blästplatsen L2022:10033. Tunna platta slaggar, uppbyggda av enstaka eller flera små slaggsträngar. A: hela slaggar. B: I tvärsnitt (av den centrala övre slaggen i A) där en homogen och mestadels småporig slagguppbyggnad. Metalliskt järn kan inte ses med blotta ögat.

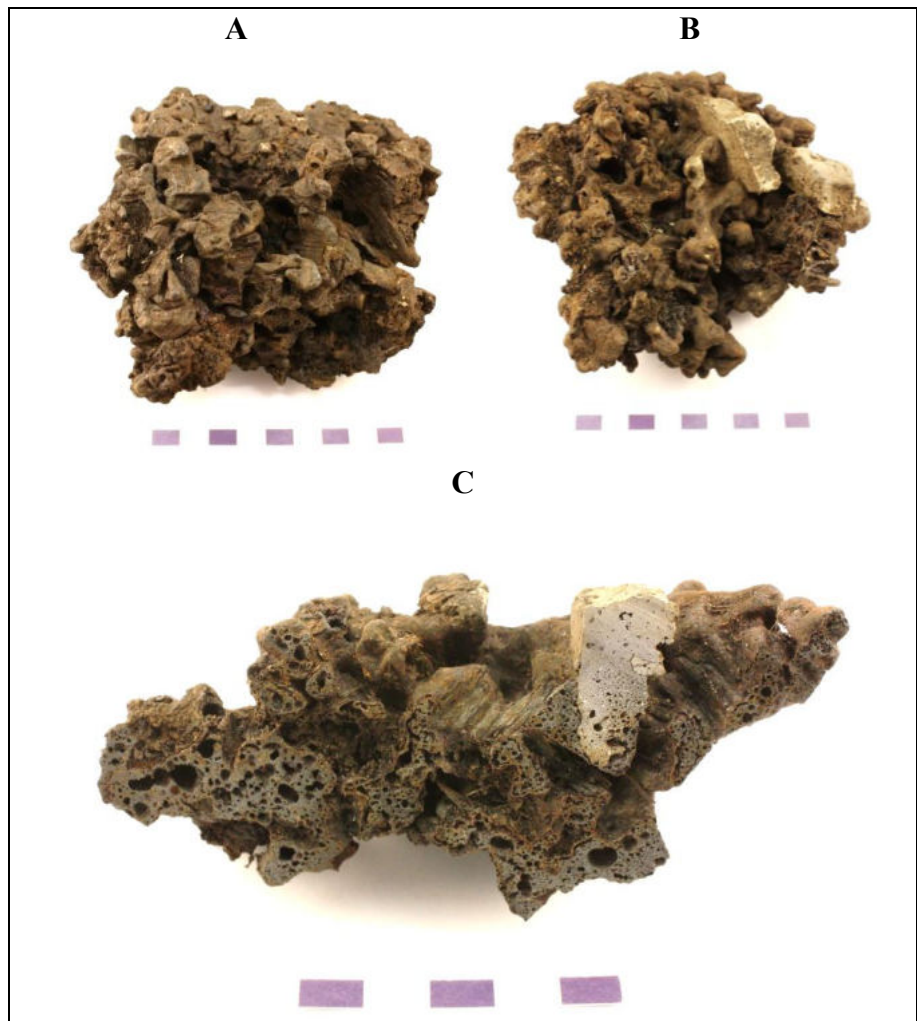
Från ugnarna på respektive plats finns också exempel på stearinformade, mer flutna slagger. P45 från nedre fyllningen i ugn A180 (L1945:9225) innehåller ett blandat material där små stearinformade slagger ingår, liksom slagger som visar övergång mellan stearinformade slaggsträngar och mer trögflutna slagger. Den som har analyserats ytterligare (Fig. 31) är homogen i sin uppbyggnad och enbart med blotta ögat kan metalliskt järn inte ses.



Figur 31. P45 från nedre fyllningen i ugn A180, L1945:9225. A: blandat material med små stearinformade slagger ingår, liksom sådana med övergång mellan stearinformade slaggsträngar och mer trögflutna slagger. B: Tvärsnitt av slaggen som har analyserats. Den är homogen i sin uppbyggnad.

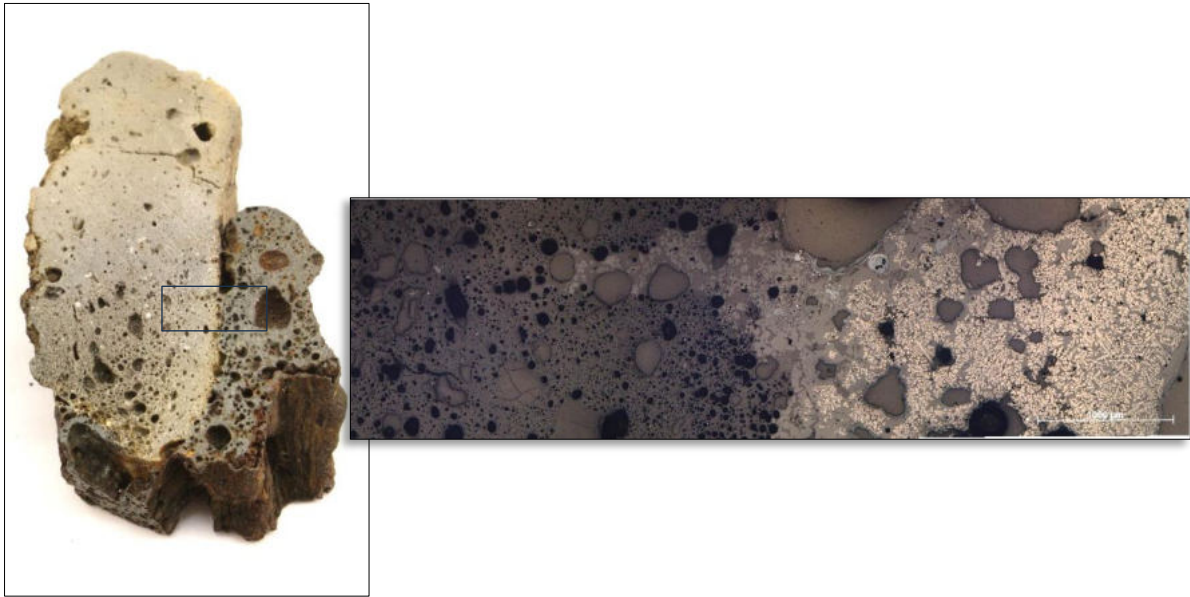
Även från nedre fyllningen i ugn A489 (L2022:10033) finns stearinformade slagger, bl.a. i ett större oregelbundet format stycke (P21). Slaggen är tydligt uppbyggd av flera tunnare pålagrade slaggsträngar men inga tydliga bottenformer kan ses, liksom de som finns i många andra slagger. På en ytterkant finns flera inkapslade gråbrända lerfragment (Fig. 32, se även fig. 14). Delning genom ett av dessa fragment visar att leran som omsluts av slagg är delvis smält/sintrad och något blåsig, medan leran som sticker ut utanför slaggen endast är gråbränd (se analyser av den tekniska keramiken och fig. 15). Slaggdelen (som har analyserats under mikroskopet och kemiskt) är porös (ställvis stora porer) och innehåller också kolstycken, men inget metalliskt järn kan ses med blotta ögat. Bitar av infodring som fallit ned i ugnen och lokalt värmepåverkats av den varma slaggen (Fig. 15 och 33). Slaggen har formats när den har stelnat mot leran men analyserna under mikroskop tyder på att den inte har kylts av i kontakt med leran, utan den har likartad grovkornighet som den större bottenlaggen i P20 från ugnen.

Slaggen i P21 har därmed ett yttre som liknar de flutna (och stearinformade) slaggen, men vid detaljerad analys har den mer gemensamt med bottenlaggernas porositet och grovkornighet och tyder på att den har stelnat inne i ugnen och snarare hör till slaggtyp 1 (och behandlas tillsammans med dess i analysdelen).



Figur 32. P21 från nedre fyllningen i ugn A489 (L2022:10033).
 Stearinformade slaggar, i ett större oregelbundet format stycke uppbyggd av flera tunnare pålagrade slaggsträngar men inga tydliga bottenformer kan ses (A och B). B: På en ytterkant finns flera inkapslade gråbrända lerfragment. C: Tvärsnitt genom ett av dessa fragment visar att leran som omsluts av slagg är delvis smält/sintrad och något blåsig.

Slaggen är mestadels porös och grovkornig, och innehåller wüstit, olivin och en glasfas, samt sporadiskt med droppar av metalliskt järn (Fig. 33), dvs. som i slaggen i övrigt som ses i P21B. I direkt kontakt med den brända leran är dock andelen wüstit lägre; här ses främst olivinkristaller och en glasfas. Ingen markant kornstorleksskillnad framträder dock varför leran, som förväntat, inte har påverkat avkylningen av slaggen nämnvärt. Slaggen förefaller snarare ha påverkat leran i större omfattning. Den är mest värmepåverkad i direkt anslutning till slaggen (Fig. 33 och fig. 15).



Figur 33. Mikrofoto på P21A, övergång från slagg (längst till höger) till den smälta och brända leran, med minskande värmepåverkan till vänster.

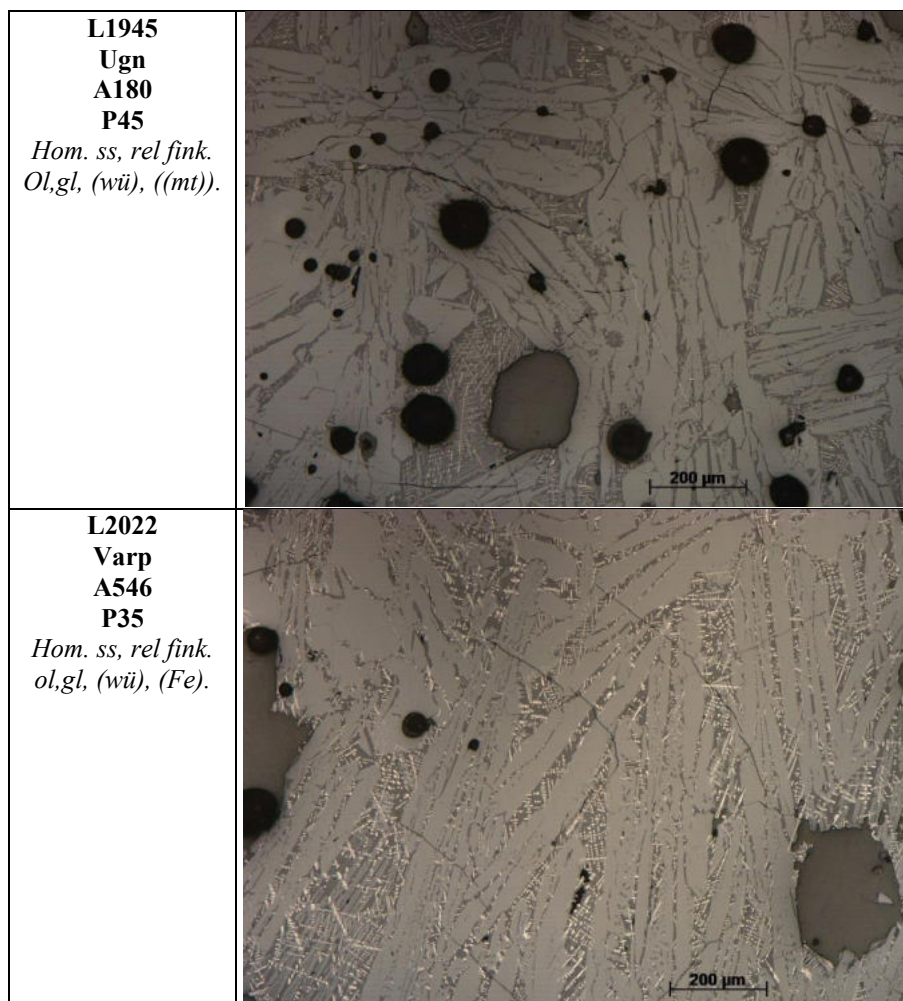
Det är oklart i vilken omfattning denna typ av fluten slagg förekommer på de båda järnframställningsplatserna. Det rör sig inte om slagg från någon annan process utan snarare delar av samma reduktionsprocess, vilket antyds av att vissa större slaggar är övergångsformer mellan de mer trögflutna och lättflutna. Ett mindre antal utgörs dock främst av de mer lättflutna slaggerna. De senare har också vissa kemiska likheter med bottenlaggerna, men saknar generellt de större mängderna metalliskt järn som är vanligt i de större, mer trögflutna bottenlaggerna.

Intressant nog påträffas flera av de flutna slaggerna i slaggvarp vid fällstenarna. Men, slaggerna i slaggvarpet (A405) vid fällstenen på lokal L1945:9225, visar mycket likartad variation som slaggerna i varpet (A245) som är knutet till ugnen. De flutna slaggerna skulle också ha kunnat bildas i samband med att luppen rensades på slagg, när slaggen rinner ur luppen. Men, slaggen som har påträffats i botten av ugnen – även om det är (sekundär) fyllning – med inkapslat fragment av bränd lera, talar snarare för en bildning i samband med framställningen i ugnen.

Analyser

Analyserna av tunnslip under mikroskop (Fig. 34, tab. 6, detaljer i bilaga 5) visar några generella drag i de flesta slaggerna av typ 2. P35, P45 och P64 är alla finkorniga och visar en tämligen hastig avkylning, dvs. till skillnad från de grovkornigare bottenlaggerna. De skiljer sig också mineralogiskt från bottenlaggerna och domineras av olivin och en glasfas med wüstit i betydligt mindre mängd; i P45 förekommer wüstit endast som mycket finkornigare kristaller mellan de något grövre olivinkristallerna (Fig. 34). Denna mindre mängd av järnoxiden wüstit återspeglas också i den kemiska sammansättningen (Tabell 7:1 i bilaga

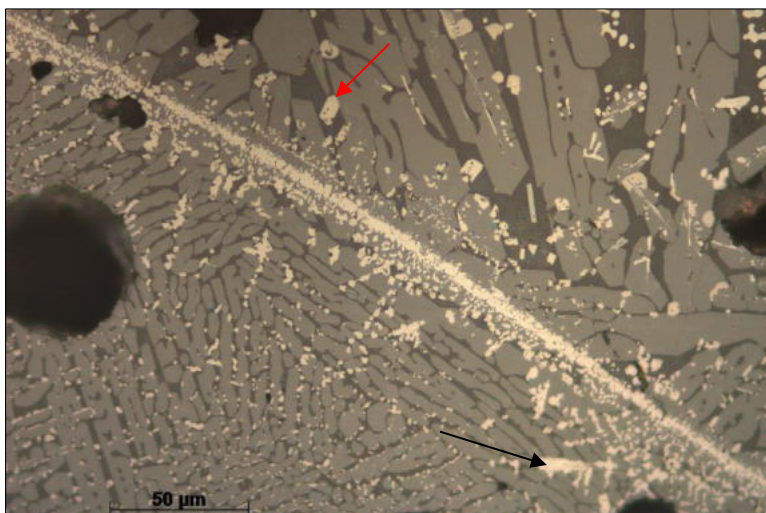
7) med lägre halt av Fe_2O_3 (< 70 %) och motsvarande högre halt av SiO_2 (27–31%) i de flutna slaggerna. P21, med det inkapslade fragmentet av gråbränd lera uppvisar dock mer likheter med bottenlaggerna (slaggtyp 1) med mer porer, den grovkornigare texturen och större andel wüstit, varför den trots den yttre formen har stelnat långsamt, i ugnens nedre del.



Figur 34. Foton från mikroskopet (skalstreck 200 mikrometer) med exempel på två slaggar (P45 och P35) från respektive plats som är homogent uppbyggda, relativt finkorniga och innehåller mycket olivin (ljus grå, långsmala kristaller). Se detaljer och förkortningar i bilaga 5.

Frågan är om de flutna, och finkornigare slaggerna har stelnat utanför ugnen. Detta kan i vissa fall anas med hjälp av förekomst av järnoxidmineralet magnetit som bildas i oxiderande miljö (utanför ugnen) till skillnad mot järnoxiden wüstit som bildas i reducerande miljö (i ugnen). I dessa slaggar är den totala halten järnoxider låg och järnoxidmineral följaktligen också få. Den järnoxid som dominerar är dock wüstit, vilket tyder på kristallisering under reducerande förhållanden, dvs. inne i ugnen. I P45 och P64 förekommer dock även små mängder magnetit (Fig. 35) sporadiskt varför det är möjligt att

avkylningen har skett i en miljö med omväxlande reducerande och oxiderande förhållanden. Sådana förhållanden skulle kunna vara luftinsläpp i sprickor runt luckan som fortlöpande har täppts till (se mer i texten om den tekniska keramiken och blästerskölden). En av dessa slaggar, P45, är påträffad i ugnen A180 på L1945:9225. Om denna är i ursprungligt läge eller utgör senare fyllning är oklart, men det är troligt att den hör till ugnskontexten och därmed framställningen.



Figur 35. P64 från slaggarvarp A405 vid fällstenen på L1945:9225. Detaljfoto från mikroskopet på kontakten (ljus strimma av järnoxid) mellan två slagglöden, ett finkornigare i nedre vänstra hörnet och ett något grövre i övre högra hörnet. I nedre vänstra delen förekommer wüstit (rundade former vid svart pil) och i den övre högra magnetit (kantigare former vid röd pil).

P64, från samma blästplats, och P35 från L2022:10033, är dock påträffade i de slaggarvarp som ligger i anslutning till fällstenarna. Det ger upphov till funderingar kring om dessa slaggar kan ha bildats i samband med hopslagningen av järnluppen och när slagg smälter ur denna. Kemiskt sett bör dock slagg som har varit innesluten i luppen återspegla den ursprungliga järnframställningen och därmed inte ge upphov till någon betydande kemisk skillnad. Det är därmed möjligt att dessa flutna slaggar är en del av samma process som bottenslaggerna, men har runnit ut ur ugnen, inte nödvändigtvis för att slagg skulle tappas ur ugnen utan i samband med att ugnen har öppnats för någon åtgärd under körningens gång eller vid dess avslut i samband med öppning/borttagning av ugnsluckan (se mer om teknisk keramik). Det kan också tilläggas att de bottenslaggar som är granskade och analyserade från slaggarvarpet A405 vid fällstenen på blästplats L1945:9225 inte typologiskt kan skiljas från slaggerna från slaggarvarpet A245 som relateras till ugnen A180. Måhända har avfallet från både ugn och fällsten förts till båda varpen i något skede, när man städat upp inför kommande arbete.

”Slaggtyp” 3 – järn och slag

På båda järnframställningsplatserna finns fällstenar med intilliggande slagghvarp. På platsen L1945:9225 har slaggerna från varp A405, vid fällstenen, samma karaktär som slaggerna från det större varpet (A245), intill ugnen. Det innebär att här finns trögflutna bottenlagger (t.ex. P62) och tunna platta stearinformade slagger (t.ex. P64).

På den andra blästplatsen, L2022:10033, förekommer dock ytterligare en typ av slag, här kallad **typ 3**, i slagghvarp A546, in vid fällstenen. Dessa slagger är tunna, trögflutna, något spröda och vanligen blå-grå på ytan. Dessutom är de magnetiska, eller kraftigt magnetiska. Några är oregelbundna i formen medan andra uppvisar en eller flera sidor som är något tillplattade. Denna typ finns i P30 och P31. En av de tunnare bitarna i P31, med en väl definierad rak kant har delats (Fig. 36). I tvärsnittet dominerar svampigt, metalliskt järn med en del hålrum och omgivande slag. Järnet är därmed inte kompakterat/hopslaget i större utsträckning. Nära den raka ytterkanten finns eventuellt något tätare järn. Detta järn har analyserats mer detaljerat.

Denna slaggtyp är därmed ett gränsfall mellan slag och metall och har analyserats mer detaljerat främst för att undersöka det metalliska järnet. Dessa behandlas därför fortsättningsvis tillsammans med järnet.

Även i samband med undersökningen av blästugnen RAÄ 78:1 (Pagoldh 1990) noterades slagger från slagghvarpet ha blåfärgning. Det spekulerades då i om slaggen skulle ha högt järninnehåll vilket skulle tyda på dåligt utfall av processen, något man var tveksam till. De nu undersökta blåfärgade slaggerna visar sig innehålla mycket järn, men tolkningen är att det kan röra sig om delar, eller kanten, av järnluppen snarare än slag.



Figur 36. P31 från slagghvarp A546 (L2022:10033). A: Två av de slagger som är tunna, trögflutna, något spröda och vanligen blå-grå på ytan sedda från två sidor. B: i delat tvärsnitt ses svampigt, metalliskt järn med en del hålrum och omgivande slag.

Metalliskt järn

Den metall som har påträffats vid undersökningen utgörs av rostiga magnetiska klumpar är järn som har noterats vid provtagningen av slaggerna. Många av dessa har visat sig innehålla järn antingen i större koncentrationer eller i mindre, tunna sliror. Järnet i slaggerna utgör därmed en del av avfallet från järnframställningen, medan en del av klumparna med mer metall skulle kunna vara delar av den tillverkade järnluppen som gått förlorat, t.ex. vid en första hopslagning, vid fällstenen. Den senare varianten förekommer endast i mindre mängd och ett fåtal prover (Tabell 7) har analyserats och jämförts med järnet som är inneslutet i slaggen.

Tabell 7. Analyserade järnprover.

Lokal	A/L	Kontext	Prov nr
L1945:9225	245	Slaggvarp (ugn)	P53B
	245	Slaggvarp (ugn)	P58A
	245	Slaggvarp (ugn)	P58B
	405	Slaggvarp (fällsten)	P63
L2022:10033	564	Slaggvarp (ugn)	P3
	546	Slaggvarp (fällsten)	P31

Järn inneslutet i större slaggar och mindre klumpar

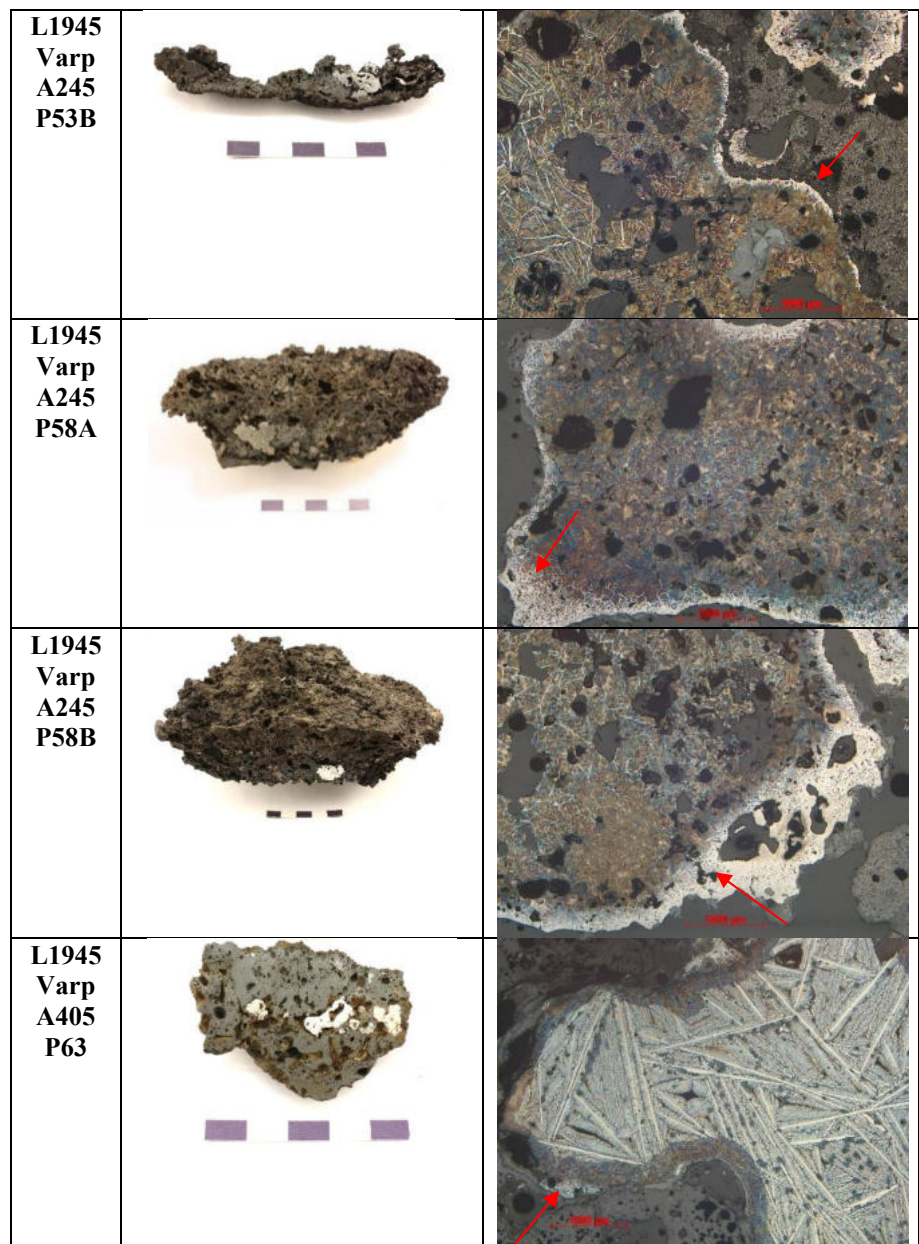
Metallen som har analyserats är innesluten i slaggen i större eller mindre ansamlingar. Flera av dem utgörs av tätt järn, medan en del mindre sliriga formationer också förekommer.

Analyser

I P53B, P58 och P58B, samtliga från slaggvarp A245 på L1945:9225, är en tät ansamling av metalliskt järn analyserad (Fig. 37, detaljer i bilaga 6). Järnet är ställvis rikt på hålrum, i övrigt tätare. Slagginneslutningar förekommer, men inte speciellt rikligt. Däremot omges järnet av slagg. I P53B är den rik på järnoxiden wüstit, precis som i de flesta analyserade slaggerna. I P58A och P58B förekommer wüstit, olivin och en glasfas, och små droppar av metalliskt järn.

Det mesta av järnet i dessa tre har en hög kolhalt, i form av perlit med grova cementitlameller (Fig. 37). En yttre kant (ca 100–200 mikrometer bred (i P58B 200–300 mikrometer), i kontakt med slaggen, har dock betydligt lägre kolhalt, ställvis nästan kolfritt med endast ferrit. Även små oregelbundna metallansamlingar fördelade i slaggen består också främst av kolfritt eller kolfattigt järn (ferrit).

En mycket likartad, zonerad förekomst med mestadels hög kolhalt och tunn kolfri kant ses i P63 från slaggvarp A405 (Fig. 37). Här är dock kolhalten ännu högre med ställvis vitt gjutjärn, i kombination med att slagginneslutningar saknas. Omgivande slagg domineras av olivin och en glasfas, medan wüstit förekommer lite längre från järnansamlingen. I den wüstitrika slaggen finns också små oregelbundna ansamlingar av järn som är kolfattigare.

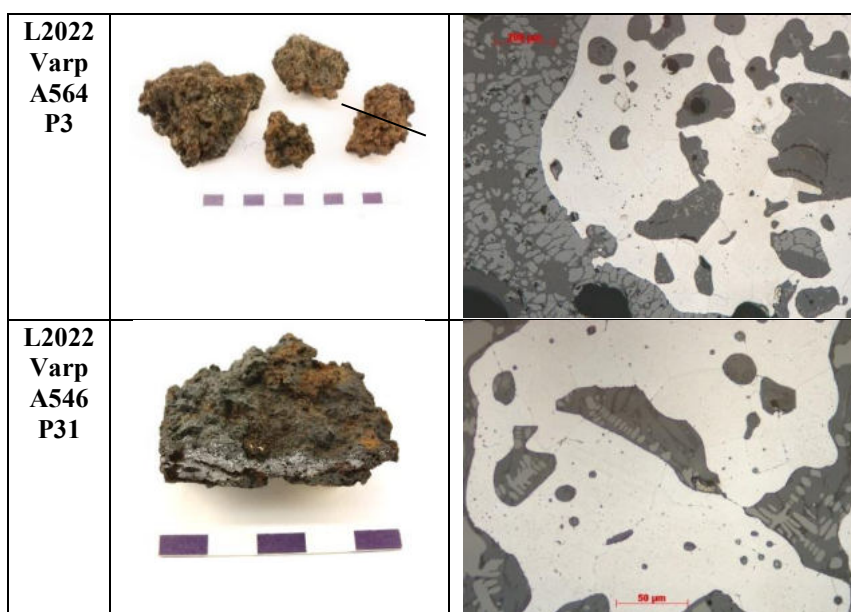


Figur 37. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P53B, P58A, P58B och P63 från L1945:9225. Till vänster tvärsnittet på slaggerna med järn. Till höger foton från mikroskopet på polerade och etsade prover. I de tre övre är metallen stål (brunblått), dvs. de har hög kolhalt. I P63 förekommer gjutjärn, dvs. ännu högre kolhalt (långsmala ljusa lameller i blå grundmassa). Samtliga har en tunn ytterkant, och i kontakt med slaggen har de en lägre kolhalt (ljus kant (vid pilarna)). Se detaljer i bilaga 6.

De båda analyserade järnproven från L2022:10033 skiljer sig från de från L1945:9225 och är mestadels kolfritt eller kolfattigt järn (Fig. 38, detaljer i bilaga 6). Dessa båda innehåller också fosfor. En textur som är typisk för fosforinnehåll ses fläckvist men det är möjligt att den är mer

utbredd, men inte framträder eftersom järnet sannolikt inte är snabbkyllt (snabb avkyllning behövs för att texturen ska uppstå).

P3, från slagggvarp A564 (vid ugnen) som är en magnetisk klump, utgörs av en tämligen tät koncentration av metalliskt järn omgivet av lite slagg och med en del slagginneslutningar. Den omgivande slaggen är mestadels grovkornig och rik på järnoxiden wüstit, men innehåller också olivin och glas. Slagginneslutningarna är mestadels finkornigare och domineras av olivin och glas med wüstit i mindre mängd (Fig. 38). Järnet är mestadels kolfritt och utgörs av enbart ferrit. Fläckvis finns områden med något högre, men ändå tämligen lågt kolinnehåll (ej över 0,3 %) där cementit/perlit förekommer tillsammans med ferrit. Längs en ytterkant ses också en grovkornigare ferrit i kombination med en diffus dendritisk textur (se metodtext bilaga 2). Den senare är karaktäristisk för ett fosforinnehåll. Texturen bildas när järnet kyls snabbt, varför det är möjligt att ferriten i övrigt också innehåller fosfor, men att det inte framgår av texturen (mikrokemiska analyser behövs). Ytterkanten har också störst möjlighet att ha kylts av snabbare än de inre delarna.



Figur 38. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P3 och P31 från L2022:10033. Till vänster analyserade klumpar med järn. Till höger foton från mikroskopet på polerade och etsade prover. I båda järnproven ses en textur med ferritkorn (fält i ljust bruna nyanser) med linjer i kornkontaktarna. Omgivande slagg är rik på wüstit. Se detaljer i bilaga 6.

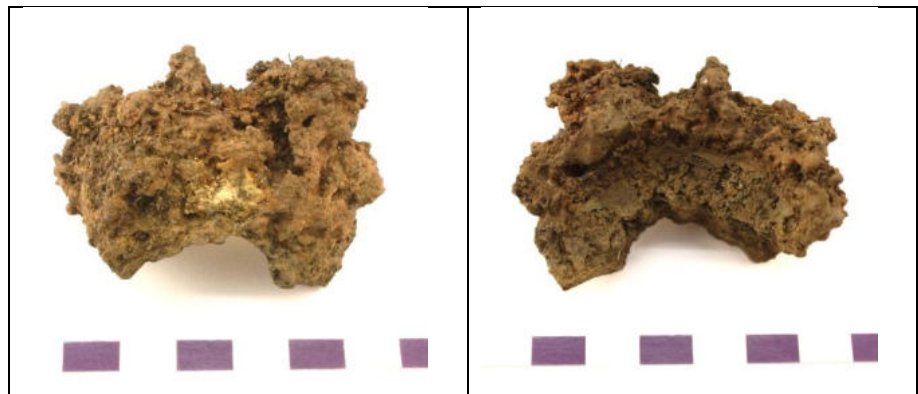
P31 från slagggvarpet A546, (vid fällstenen) kategoriserades som slagg typ 3 vid den okulära granskningen, och är en trögfluten blå-grå magnetisk slagg. Vid provtagningen noterades dock att den mestadels utgörs av metalliskt järn. I polerprovet ses att metallen omges av slagg, men även är integrerad med slagg, dvs. större sammanhållna metallkoncentrationer saknas. Slaggen är rik på järnoxiden wüstit, med endast små mängder olivin och en glasfas (Fig. 38). Järnet, oavsett om

det är något större ansamlingar eller små, tunna sliror, är kolfritt, dvs. ferritiskt. I ett område, nära ytterkanten förekommer dessutom en dendritisk textur likt i P3.

Fosfor har noterats också i några av slaggerna från L2022:10033, i högre halter (nära 3 % P_2O_5) än i slaggerna från L1945:9225 (Bilaga 7, och utvärdering nedan)). Bland annat de båda slaggerna från ugnen, P20 och P21 (vilka också har höga manganhalter), liksom en slagg (P29, med lägre manganinnehåll) från slaggvarpet A546, vid fällstenen.

Avtryck efter blästerrör

Bland slaggerna från slaggvarp A205 (vid fällstenen) på blästplatsen L1945:9225 finns en kraftigt magnetisk slagg med avtryck (Fig. 39), troligen från ett blästerrör (P66). Avtryck efter blästerångar finns också i flera av ugnsväggsfragmenten (se ovan). Den kraftiga magnetismen i P66 antyder ett stort innehåll av metalliskt järn. Med tanke på den fina formen har den dock varken delats eller analyserats ytterligare. Flera liknande avtryck är dokumenterade från järnframställningsplatsen Räntansböle i Rätans socken, Jämtland som var i bruk under 1400–1500-talet (Engman 2107). Analyser av ett av dessa styrker en hög andel metall, som dessutom visade sig vara järn med hög kolhalt, dvs. stål (Grandin & Ogenhall 2017).



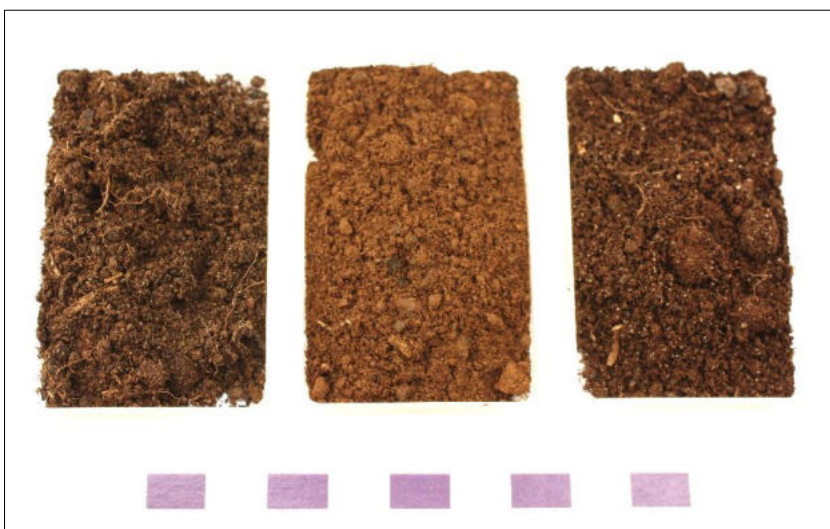
Figur 39. P66, en kraftigt magnetisk slagg, troligen med stor andel metall. Slaggens undre del (till höger) har stelnat mot rörformat objekt, troligen blästerrör, som har lämnat avtryck.

Rostad myrsmalm från de båda platserna

Malmproverna från de båda lokalerna utgörs av finkornigt, magnetiskt material (Fig. 40). *Malmprov 1* från L1945:9225 är röd-lila med lite inblandning av bränd lera, stenar och kolstycken. *Malmprov 2* från L1945:9225 är ljus röd-brun och innehåller kolstycken, enstaka slaggfragment men också ett fåtal större malmstycken (analyserade). *Malmprov 3* från L2022:10033 är lila-brun och innehåller en del kolstycken, men varken slagg eller bränd lera är dokumenterat.

Alla tre proverna är magnetiska, vilket i kombination med den tämligen mörkt röda färgen tyder på att det är rostad malm (järnoxid, bl.a. magnetit/maghemit); orostade (naturliga) malmer är vanligen

ljusare och omagnetiska (järnhydroxider). Att det rör sig om rostad malm stämmer därmed överens med vad man kan förvänta sig i ett malmupplag. I några av proverna finns inblandning av annat material såsom slagg och bränd lera vilket sannolikt är sekundär inblandning, möjligen skapad redan då platsen var i bruk och en del i miljön med närhet mellan olika material och verksamheter. De analyserade malmproverna har rensats från denna iblandning, men en del små kolflisor har sannolikt inte kunnat undvikas (se kolhalten på några viktsprocent i analysresultaten i bilaga 7).



Figur 40. De tre malmproverna (del från större). Från vänster till höger: malmprov 1 och 2 från L1945:9225 och malmprov 3 från L2022:10033.

De kemiska analysresultaten (bilaga 7) visar att malmen är rik på järn (59 respektive 70 % Fe_2O_3). I övrigt förekommer kisel (16–17 % SiO_2). Bland andra ämnen är aluminium högst (storleksordningen 2 % Al_2O_3). Inget annat ämne når upp till 1 %. Malmerna är därmed tämligen rena. Några ämnen av intresse, som också förekommer i slaggerna, är mangan och fosfor som båda är något högre i malmprov 3 än i malmprov 2 (1,7 % och 0,7 % MnO , resp. 0,3 % och 0,2 % P_2O_5). Halterna är dock generellt lägre, eller mycket lägre än i de flesta slaggerna (se mer i analysdelen). Även om mangan anrikas i slaggen under framställningsprocessen och till stor del även fosfor (en mindre andel går också till metallen), är malmernas innehåll i lägsta laget för att dessa direkt ska kunna knytas till de analyserade slaggerna. Det innebär att ytterligare malmer har använts på platsen. Detta diskuteras mer i bilaga 7. Skillnaden mot slaggerna ses också i några spårämnen där förekomst av kobolt, 38 ppm i malmprov 2 och 20 ppm i malmprov 3, är högre än i slaggerna. Innehållet av andra spårämnen som vanadin och krom, är dock generellt något lägre än i de flesta slaggerna (se bilaga 7 för mer detaljer).

Produkten, processen och råvaran – variation i sammansättning

Resultaten från de totalkemiska analyserna återfinns i sin helhet i bilaga 7. Resultaten för slaggerna och malmerna från de båda aktuella järnframställningsplatsen har utvärderats med utgångspunkt i några utvalda huvudämnen och spårämnen, där tyngdpunkten har varit att jämföra:

- slagger från de olika kontexterna (ugn, slaggarvarp, fällstensvarp) inom varje blästplats
- slagger av olika typ; trögfluten (typ 1) och fluten (typ 2)
- slagger från de båda blästplatserna
- slagger och malmer

Järnframställningsprocessen

Några av skillnaderna i slaggernas sammansättning (bl.a. järn- och kiselinnehåll) kan främst knytas till *processen*, där högre järnhalter ses i de trögflutna, wüstitrika bottenlaggerna som har stelnat inne i ugnen. De mer lättflutna slaggerna, med mindre wüstit, har runnit iväg lättare från de större slaggvolymer; möjligen har dessa också stelnat inne i ugnen men med tanke på den hastiga avkylningen kan de ha runnit ut ur ugnen och stelnat utanför denna även om slaggtappning inte var en funktionell del av processen. Dessa karakteriseras dock av tydligt lägre totalhalter av järn. I bottenlaggerna förekommer visserligen också metalliskt järn som kan ha bidragit till den totalt högre järnhalten i någon mån även om delar av slaggen med låg andel metall prioriterades för analyserna.

Slaggerna från ugnar och slaggarvarp på de båda platserna uppvisar en ensartad bild som speglar en mycket likartad process på de båda platserna, och över deras brukningstid. Urvalet är visserligen begränsat och det har inte varit möjligt att täcka in alla tidshorisonter för att fånga upp eventuell förändring över tid, men med utgångspunkt i resultaten framträder en enhetlig process.

Variationer i använda malmer

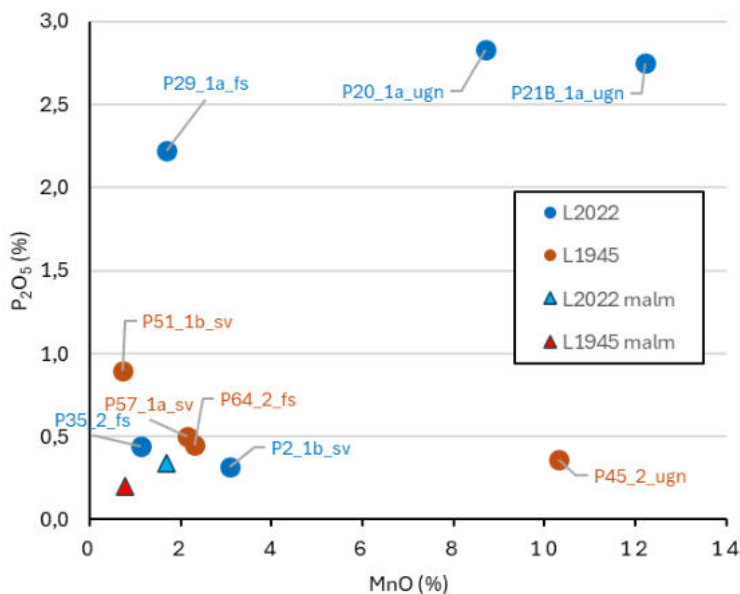
Även om det mesta tyder på att processen har varit likartad, visar skillnader i kemisk sammansättning att flera olika malmer har använts inom de båda platserna. Denna variation ligger sannolikt inom vad som kan förväntas för myrmalmer inom närområdet, och har utgjort en variation som har hanterats inom ramen för den vanliga uppsättningen av malm. Slaggerna uppvisar en variation i manganinnehåll, med såväl lägre som högre manganhalter (Fig. 41). Bland de analyserade malmerna förekommer dock endast lägre halter. De slagger som har högst manganinnehåll är påträffade i ugnarna, från sista körningen, på respektive plats och kan därmed inte kopplas till malmerna från de båda malmupplagen. Möjligen speglar dock de provtagna malmerna det (de) nedre lagret (lagren) i upplaget, från tidigare brukningsfas(er) och skulle i så fall matcha bättre med slagger från något av varpen.

Malmerna har tämligen låga halter av bl.a. mangan och fosfor, som också motsvarar några av slaggerna (Tabell 7:1 i bilaga 7). Studerar vi

spårämnen också visar det sig att några av slaggerna har betydligt högre halter av bl.a. vanadin och krom för att direkt kunna knytas till malmerna. Men, en slagg från varje lokal uppvisar spårämnesinnehåll i samma storleksordning och likartade kvoter av de sällsynta jordartsmetallerna (REE) som malmerna varför det finns ett fåtal slaggar som visar mer direkt samhörighet med malmerna på respektive plats (Fig. 7:8 i bilaga 7). Den ena slaggen är bottenlaggen (typ 1) P2 från övre delen av slagghvarp A564 knutet till ugnen på L2022. Den andra är den mer flutna slaggen (typ 2) P64 från slagghvarpet A405 vid fällstenen på L1945.

Tabell 8. Schematisk uppdelning av slaggar (och malmer) med hög/låg mangan- och fosforhalt samt variationer i vanadin- och kromhalt. De båda kolumnerna till höger har likartad variation i mangan (Mn) och fosfor (P) men är uppdelad ytterligare med hjälp av vanadin (V) och krom (Cr) (från bilaga 7).

Plats	Hög Mn Hög P Låg V, Cr	Hög Mn Låg P Medel V, Cr	Låg Mn Hög P Låg V, Cr	Låg Mn Låg P Hög V, Cr	Låg (- Medel) Mn Låg P (Låg-)Medel V, Cr
L1945		P45		P51, P57	P64; MP2
L2022	P20, P21		P29	P35	P2; MP3



Figur 41. Innehållet av mangan (som MnO) och fosfor (P_2O_5) som visar spridningen i de analyserade proverna. Högre fosforhalt förekommer endast i slaggar från L2022:10033, med såväl hög som låg manganhalt. Etiketterna visar **provnummer_slaggtyp_kontext**, där slaggtyp 1 är wüstitrik, slaggtyp 2 är wüstitfattig, "ugn" är slaggar från ugn, "sv" från slagghvarp knutet till ugnen, och "fs" är slagghvarp knutet till fällstensplatsen. Se även Fig. 7:3 och 7:4 i bilaga 7.

Produkten – stål och fosforjärn

Höga manganhalter kan underlätta kolupptaget i järnet, dvs. för att tillverka stål. Stål, med höga kolhalter i järnet, är också observerat i metallkoncentrationer i flera av slaggerna, främst från L1945:9225. På L2022:10033, med höga manganhalter i slaggerna från ugnen är dock inte stål observerat. Men de järnprover som har analyserats kommer från slaggsvarpen och inte ugnen, varför det är inte möjligt att koppla samman dem mer exakt. De manganrika slaggerna från L2022:10033 innehåller också höga halter av fosfor (Fig. 41, Tabell 8). Fosfor är också noterat i två järnprov (P3 och P31) från slaggsvarp på L2022 vilket talar för en tillverkning av fosforjärn på denna plats. Med utgångspunkt i de få proverna som har analyserats går det dock inte att utesluta vare sig stålproduktion på L2022:10033 eller fosforjärn på L1945:9225 – resultaten visar snarare på möjligheten att båda kan ha framställts. Återigen är det dock andra malmer än de som har analyserats som har använts.

Med utgångspunkt i dateringsresultaten är det möjligt att ugnarna på båda platserna har varit i drift samtidigt. Och de likartat höga manganhalterna från båda är ett första tecken på samtida bruk av manganrika malmer. Men, slaggerna från ugnarna på respektive plats uppvisar skillnader i bl.a. fosforinnehåll såväl som några spårämnen (t.ex. vanadin och krom) vilket medför att det inte rör sig om samma malmer i det här fallet.

Genom jämförelse av halterna av flera av huvudämnena (mangan och fosfor) samt några spårämnen (barium, vanadin, krom och de sällsynta jordartsmetallerna) växer det fram flera olika kombinationer av kvoter mellan dessa. I ett större perspektiv finns likheter mellan dem, men de uppvisar variationer som antyder att flera olika malmtäkter har utnyttjats på de båda platserna.

Det förefaller därmed som om järnframställningen kan ha skett mycket likartat vid upprepade tillfällen i ugnarna, men med malmer från olika malmtäkter.

Sammanfattning och tolkning (Ole Stilborg och Lena Grandin)

De båda järnframställningsplatserna L1945:9225 och L2022:10033 har, som noterats vid den arkeologiska undersökningen i fält, samma övergripande struktur. På båda lokalerna finns en blästugn med ett intilliggande slagghvarp, en fällsten med intilliggande slagghvarp (med förmodad fällslag), samt ett malmupplag med rostad malm. Det innebär att dessa också visar stora likheter med två andra tidigare undersökta platser, Älvros RÅA 75:1 och RÅA 78:1 (Pagoldh 1990). De nu studerade järnframställningsplatserna är dessutom endast två av ett stort antal kända platser i området och är därmed sannolikt delar av en storskalig verksamhet.

Ugnarnas konstruktion

Kunskapen kring hur ugnarna har konstruerats vilar dels på utgrävningarnas fynd av stenar från schaktet; fynden av bränd lera som för båda platserna tillsammans uppgår till ca 2,6 kilo och dels – inte minst – jämförelser med tidigare undersökningar av Älvros 75:1 och 78:1 (Pagoldh 1990).

Schaktet har huvudsakligen byggts av sten med stående stenhällar i botten som övergår i ett invändigt cylindriskt, torr-murat schakt. Detta har invändigt beklänts med lera som även kan ha fodrat en del av slagghupsamlingsgropen. Det finns således fragment med stenavtryck och även påsintrade bitar av stenschaktet (båda platser. (Fig.10 och 3) samt relativt tjocka lager av lera på botten av några bottenslagger (L2022:10033). Möjligen har det också funnits en yttre fodring med lera men denna har i så fall inte bränts under användningen av ugnen men förblivit lera. Schaktet är på tre sidor omgett av sand innanför en träram. På den fjärde sidan finns en öppning i schaktet för uttagning av lupp och senare rensning på slagg. Denna öppning var under processen stängd med en lucka/blästersköld med en blästeröppning. En större del av en sådan påträffades på Älvros 75:1 (Fig. 3) och rester av liknande med spår efter blästeröppningar (3-5 cm i diameter) har påträffats på L1945:9225 och L2022:10033. Bland slaggerna i slagghvarpet på L1945:9225 finns dessutom en järnrik slagg som har fastnat ovanpå blästerröret där det har stuckit in i ugnen och lämnat ett avtryck (Fig. 39).

Råmaterial till ugnen

Beräkningar utifrån de keramiska fynden på L1945:9225 och L2022:10033 pekar på att man rimligen har behövt mellan 2 och 10 kilo lera för att konstruera en ugn och att det är bläster-skölden som har krävt den största mängden. Dessutom är det antagligen denna del som kan ha bytts ut under "livstiden" för ett schakt. Det finns inga spår efter reparation av insidans lerfodring vilket antyder att man efter ett tag har byggt om hela schaktet – möjligen med återanvända stenar men med ny lerfodring.

Fynd gjorda av besökande från Bäckedals Folkhögskola av små mängder lera i sekundärt läge på båda utgrävningsområdena har analyserats och jämförts kemiskt med prov av den brända lerfodringen. Analyserna visade att lerprov och fodringsrester liknade varandra med undantag för en mycket högre kalkhalt i provet från L2022:10033. Proven från dessa lerfläckar (Fig. 8) i ett sandigt område kan antingen vara rester efter lerupplag som deponerats exempelvis för att konstruera en ny blästersköld ELLER vara rester efter yttre fodring som inte bränts. Oavsett vilket visar särskilt kalkhalten att det finns en del variation i den lokalt tillgängliga leran som ugnsbbyggarna måste vara uppmärksamma på. Den lägre värmetåligheten hos en kalkrik lera skulle ställa till problem om den användes som inre fodring av schaktet.

De termiska analyserna av prov från båda platserna visade att man i båda fall använt leror med god värmetålighet med en smältgräns som ligger över de vanligaste processtemperaturerna i en blästugn.

Petrografisk mikroskopering av tunnslip av prov av fodringsfragment från båda platserna (Fig. 16) visar att man valt i princip samma typ av siltrik, mellangrov, kalkfri lera med någon liten lokal skillnad. Däremot finns en skillnad i att ett prov av ett blästersköldsfragment från L1945:9225 var magrat med en liten mängd växtmaterial och ett annat prov med krossad bergart – vilket det inte finns några motsvarigheter till bland de analyserade fynden från L2022:10033. Detta tyder på att även om ugnstypen och den bakomliggande tekniska traditionen var den samma så fanns mindre skillnader som rimligen kan hänföras till olika preferenser hos olika grupper av järnframställare.

Malmråvaran

På båda lokalerna fanns malmupplag med rostad malm som ger en inblick i den råvara som användes i järnframställningen (Fig. 40). Malmens beskaffenhet är en av förutsättningarna för vilken produkt, järn eller stål, som tillverkades. Det är genomgående myrmalmer som har använts och dessa är järnrika, men de innehåller också andra ämnen som ger en fingervisning om att det inte är en och samma malmtäkt som har använts under den tid som platserna var i bruk. Detta ses också indirekt, med hjälp av slaggernas sammansättning. Det finns variationer i slaggerna som visar att flera malmtäkter har använts på båda platserna. Den rostade malm som fanns kvar i malmupplaget har signaturer som avviker från slaggerna som fanns kvar i ugnarna vilket betyder att andra malmer, som inte har påträffats, användes vid de sista körningarna på L1945:9225 såväl som på L2022:10033. Slaggerna som är påträffade i båda ugnarna har en markant halt av mangan (vanligt i myrmalmer). Men, även om ugnarna (sista körningen) på dessa platser teoretiskt var i bruk samtidigt så var det ändå inte med samma malm; på L2022:1003 innehåller slaggen också fosfor i betydligt högre halter än i slaggen från ugnen på L1945:9225 (Fig. 41).

Möjligen speglar dock de provtagna malmerna tidigare brukningsfaser. Det visar sig att det finns bättre överensstämmelse med slaggar från slaggvarpen, bland annat en slagg från övre delen av slaggvarpet vid ugnen på L2022:10033, och en från övre delen av

slaggsvarpet vid fällstenen på L1945:9225 som har låga mangan- och fosforhalter och med liknande spårämnessignatur som malmerna.

Mycket tyder på att järnframställningen kan ha skett likartat vid upprepade tillfällen i ugnarna, men med malmer från olika malmtäkter. Den variation som ses kan dock sannolikt förväntas för myrmalmer inom närområdet, även om detta inte har undersökts inom ramen för denna studie.

Ugnens funktion

Ugnarna på båda platserna visar övergripande likheter i sin uppbyggnad vad gäller materialval, form och storlek. Studiet av såväl slagger som ugnsväggsfragment visar också att de har fungerat på i stort sett samma sätt under järnframställningen. Malmen har, tillsammans med bränslet, genom sin väg ner genom ugnspipan reducerats till metall och samtidigt har slaggbildats. Denna slaggbildning har samlats i nedre delen av ugnstrymmet. I ugnen på L2022:10033 fanns dessutom en bottenlagg kvar i ursprungligt läge (Fig. 22). Slaggbildningen från slaggsvarpen som med utgångspunkt i den rumsliga organisationen hör till respektive ugn har likartad form och uppbyggnad som tyder på likartad process där slaggen har runnit ner i ugnens nedre utrymme. Där har slaggen stelnat långsamt vilket antyder att den har tagits ut först efter avslutad process. De flesta slagger är rika på järn (som järnoxid) och många har mindre eller större koncentrationer av metall i sina centrala delar (Bilaga 5, fig 5:5–5:6). Det finns också mer lättflutna slagger som har runnit i mindre strängar och kylts av snabbare. Dessa är betydligt mindre än bottenlaggerna och förekommer i mindre omfattning.

De mindre mängderna järn som har påträffats och analyserats ytterligare består bl.a. i några små klumpar som skulle kunna vara ytterkanten av luppen och som gått förlorade när den bearbetades. Men det mesta av kunskapen om järnet fås ur de ansamlingar av metall som finns i många av slaggbildningarna. Såväl små tunna strimlor av järn som en del större koncentrationer, någon till några centimeter stora, förekommer (Fig. 22 och 37). Dessa järnansamlingar har bildats på plats i slaggen, som har legat kvar och stelnat långsamt i ugnens nedre utrymme.

I slaggen har den successiva reduktionen av järnhydroxider i malmen via järnoxider till järn fortgått. Järnet från slaggbildningarna på L1945 som har analyserats uppvisar genomgående en tämligen hög kolhalt, mestadels som stål, i något fall ännu högre i form av gjutjärn, vilket antyder att även järnluppen, som bildats ovanför slaggen kan ha haft liknande kolhalt.

Det kan diskuteras i vilken omfattning reduktionen har fortsatt i slaggen och eventuellt kan det grunda utrymme, som antyds av bottenlaggernas ringa tjocklek, ha medfört att inte bara luppen, men även slaggen har bildats i den zon som är lämpad för omvandlingen till metall. Här har temperaturen lokalt varit på den nivå där kolhaltigt järn når smälttemperaturen och varit såpass flytande att det kan ha separerats från järnluppen högre upp.

Den omfattande slaggmängden i slaggsvarpen på de båda platserna visar på en upprepad användning av ugnen där den har tömts på slaggbildning

mellan varje körning. Dateringsresultaten från de båda ugnarna (uppgift från K. Jonsson, JAMTLI) visar dessutom en lång användningstid där den omgivande träramen på båda platserna är betydligt äldre än det material som fanns i botten på ugnarna, och som representerar om inte den sista så troligen någon av de senaste körningarna. I vilken mån som schaktet har byggts om under denna användningstid är svårt att säkert klarlägga men de förglasade lager med tjocklekar upp till 13-14 mm på fodringsfragmenten från båda ugnarna tyder på att de utgrävda schakten på båda platserna använts minst två gånger. Det är flusseffekten från en järnrik miljöns förorening av schaktets insida som vid följande körningar av ugnen nedsätter det keramiska materialets smälttemperatur. Detta sker inom blästzonen där temperaturen är som högst medan lerfodringen högre upp i schaktet enbart bränns till keramik. När denna förglasade yta har uppstått och ugnen körs vid samma temperaturer sker det inte ytterligare tydliga förändringar som kan avslöja antalet körningar. Det observerades inga spår efter reparation av schaktets inre lerfodring men däremot flera spår efter mindre skador på samma. Dels ses brott från avspjälkningars dels lösa fragment som fastnat i slagglager fastsintrade på schaktfodringsfragment. Slutligen har ett löst fragment omslutits av slag i botten av ugnen på L2022:10033 vid vad som sannolikt är den sista körningen av ugnen.

Produkten – kvalitet, egenskaper och mängd

Fosforinnehållet (Fig. 41) som har noterats i slaggen är intressant, inte bara för att spåra olika malmer, utan kanske främst för vilken produkt som tillverkades. De analyserade järnproven från L2022:10033 (Fig. 38) har en låg kolhalt men innehåller fosfor. Det innebär att fosforjärn bör ha varit en av produkterna på platsen, åtminstone vid någon tidpunkt. Fosfor (i låg halt) bidrar till förbättrad hårdhet hos ett kolfritt/lågkolhaltigt (ferritiskt) järn samtidigt som det har en fördelaktig seghet. Höga halter av fosfor kan visserligen vara kvalitetsnedsättande, men det verkar inte vara fallet här.

Varken bland slaggen eller järn från L1945:9225 som har analyserats finns några tecken på tillverkning av fosforjärn. Det är dock endast ett fåtal prover som har undersökts, varför det inte kan uteslutas att fosforjärn har tillverkats även där. Allt järnet på L1945:9225 som har analyserats visar istället en hög, eller delvis mycket hög kolhalt, i halter som motsvarar ett hårt stål (Fig. 37). I något fall förekommer också gjutjärn, dvs. ännu högre kolhalter som medför att metallen inte är direkt smidbar utan behöver avkolas (färskas) först. Det är dock inte säkert att gjutjärnet var avsikten utan en bieffekt när man har reglerat processen för att tillverka stål.

De båda malmerna är järnrika, men det är även slaggerna. Järnrika slaggen är vanligt förekommande i blästbruket och är därmed inte något absolut tecken på dålig utvinning, men det kan försvåra uppskattningen av hur mycket järn som kunde utvinnas. För att få en uppfattning om hur mycket järn som har producerats har flera olika modeller tidigare använts i olika sammanhang. Vid undersökningar av Älvros 75:1 och

78:1 presenterade Pagoldh (1990) några exempel på detta. Som exempel används en större bottenslagg på 6,5 kg från Älvros 75:1. Den beskrivs vara en knapp fjärdedel av den ursprungliga storleken som beräknas ha haft en total vikt på 25–40 kg. Enligt Pagoldhs förslag skulle det motsvara tillverkat järn på 8–20 kg (1990, s 8). Så stora bottenslagger är dock inte noterade i denna undersökning. Slaggen som fanns kvar i botten av ugnen på L2022:10033, är en i det närmaste hel bottenslagg och tillhör de större som ingått i analysen. Den väger 5,5 kg och är ca 30 cm i diameter och som mest, i centrala delar, ca 10 cm tjock. Den ringa tjockleken antyder att slagguppsamlingsutrymmet varit tämligen grunt. Slaggen låg nära ena kortsidan av den långsmala ugnsbotten, mot den vägg där luften blåstes in och fyllde därmed inte ut hela utrymmet. Den är följaktligen betydligt mindre än slaggen som beskrivs från Älvros 75:1. Om inte mer slag har bildats under en och samma körning innebär det också en mindre mängd järn framställt vid varje tillfälle, jämfört med det som presenteras för Älvros 75:1.

Det är inte känt i vilken form järnet har lämnat platsen, men det har tidigare spekulerats om att det kan röra sig om delvis kluvna luppar (Buchwald 2008) och enligt tidigare studier av luppar är järnet ofta ojämnt i kvalitet med områden som är mer stålartade (kolrika) och andra som är fattigare på kol. Det är fullt möjligt att motsvarande gäller för produkten från Älvros. Resultaten ger därmed inget entydigt svar på om Härjedalsjärnet var ett homogent stål, eller huruvida det fanns flera produkter, med olika egenskaper, som dessa analyser pekar på.

Resultaten av såväl de metallurgiska som de keramiska analyserna tyder på att de som byggde och använde Älvrosugnarna var självständiga grupper med bland annat separata malmkällor och olika hållning till behovet av magring. Samtidigt är platsens struktur och ugnstypen närmast identiska. Dessa resultat skulle passa bra in i en modell där en större grupp av järnframställare delar en gemensam process-teknologisk tradition med en tillhörande ”verktygslåda” med olika möjliga variationer att ta till vid behov eller av preferens.

Referenser

- Bennerhag, C., Grandin, L., Hjærtner-Holdar, E., Stilborg, O. & Söderholm, K. 2021. Hunter-gatherer metallurgy in the Early Iron Age of Northern Fennoscandia. *Antiquity* 2021, Research Article, pp. 1–16. <https://doi.org/10.15184/aqy.2020.248> Open Access
- Björkenstam N. 1990. Västeuropeisk järnframställning under medeltiden. Stockholm Archaeological Reports Nr 25, Jernkontoretsbergshistoriska skriftserie Nr 26, Stockholm, 1990.
- Buchwald, V. F. 2008. Iron, steel and cast iron before Bessemer. *Historisk-filosofiske Skrifter* 32, Köpenhamn.
- 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-E. 2002. Blästbruk. *Myrjärnhanteringens förändringar i ett långtidsperspektiv*. Jernkontorets bergshistoriska skriftserie 40.
- Englund, L-E.; Grandin, L., Hjærthner-Holdar, E., Kresten, P. & Stilborg, O. 1999. *Förromersk järnframställning i Söderåkra – en arkeometallurgisk undersökning. RAÄ 342. Söderåkra sn, Småland. GAL Rapport 1999:12. RAÄ/UV-GAL.*
- Engman, A. 2017. Järnframställningsplats i Böle. Arkeologisk undersökning av RAÄ Rätan 30:1. Rätans socken, Bergs kommun, Jämtlands län. RAPPOR – JAMTLI 2017:20. ISSN 1654-2045
- Grandin, L. & Ogenhall, E. 2017. Järnframställning i Rätan. Arkeometallurgiska analyser av slagg, järn och malm från en järnframställningsplats i Rätansböle, Jämtlands län, Jämtland, Bergs kommun, Rätans socken, RAÄ 30:1, Böle 1:12, Rätansböle. GAL RAPPOR 2017:02. *Geoarkeologisk undersökning. Statens historiska museer. Arkeologerna. Geoarkeologiskt Laboratorium.* Uppsala.
- Grandin, L. & Stilborg, O. 2021. *Järnframställning i norra Skåne. Okulär granskning av slaggar och teknisk keramik. Projektet "Järnåldersjärn i Skåne" Arkeometallurgiskt material från nio slagguvarp – flera fornlämningar i Skåne län, Skåne.* Geoarkeologisk undersökning. GAL/SKEA PM 2021:02. Arkeologerna.
- 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.

- Hjärthner-Holdar, E. & Grandin, L. 2014. Smedjan i Gene. Arkeometallurgiska analyser. Ångermanland, Själevads socken, Själevad 22. *UV GAL Rapport 2014:20. Geoarkeologisk undersökning. Riksantikvarieämbetet. Arkeologiska uppdragsverksamheten. Geoarkeologiskt Laboratorium*. Uppsala.
- Hulthén, B. 1976. On Thermal Colour Test. *Norwegian Archaeological Review* 9:1.
- Magnusson, G. 1986. Lågteknisk järnhantering i Jämtlands län. Stockholm 1986.
- Pagoldh, M. 1990. Rapport över arkeologisk undersökning av järnframställningsplatser och liggmilor, fornl nr 75-8 1, Långskogen, Kyrkbyn 1 :3, Älvros sn, Härjedalens kn, Jämtland. Jämtlands läns museum 125.
- Sahlén, D. (opubl.) Arbetsrapport, Teknisk keramik från Rätan, Bergs Kommun, Jämtland.
- Stilborg, O. 2023. 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.
- Thålin, L. 1973. Notes on the Ancient Iron Currency Bars of Northern Sweden and the Nickel Alloys of Some Archaeological Objects. *Early Medieval Studies* 5, 24–41. Antikvariskt Arkiv 50. Kungl. vitterhets historie och antikvitets akademien, Stockholm.

Bilagor

Bilaga 1. Analysmetoder för teknisk keramik (Ole Stilborg)

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/vidjefläkning, stolpar och bräder samt avtryck och rester av sten efter stenram eller – som i detta fall – ett kallmursbyggt schakt. Dessutom dokumenteras spåren efter blästerhål och andra formdetaljer. Registreringen av 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 utåt 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 (i Älvrosfallet beroende på om det funnits en yttre fodring) 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 metalloxider.

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 den aktuella analysen har använts en Olympus Delta 50 portabel XRF-apparat. Metoden har en hög exakthet för huvudelementen (bl.a. K, Al och Si varav de senare elementen är huvud-beståndsdelar i keramik). Osäkerheten är något större för spårelement. 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 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 2. Undersöknings- och analysmetoder för slagger och metaller (Lena Grandin och Erik 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 slaggernas 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. tappslagger, 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 texturrella 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 blästugnsslagger 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 slaggernas ”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 tappslagg). Magnetit är också vanligt i smidesslagger. Höga aluminiumhalter i kombination med höga kaliumhalter återfinns i mineralet *leucit*, $KAlSi_2O_6$, 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 slag.

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. Glödning, 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 slag

Totalkemiska analyser av slag 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) där huvudämnen anges som oxider och övriga som rena ämnen, även om dessa egentligen förekommer i mer komplexa former.

Syftet med kemiska analyser av slag 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 slag från järnframställning (reduktionsslag) och smide dominerar järn och kisel och i reduktionsslag är halterna ett generellt mått på hur processen fungerat; lägre järnhalt innebär bättre utvinning ur malmen. När det gäller smidesslag (sekundärsmide) kan hög järnhalt vara ett tecken på att metalliskt järn tillkommit till slaggen under smidet (oxiderat till slag) 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 smidesslag ha en kemi relativt lik den hos reduktionsslag.

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 7), 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 smidesslag (som delvis har sitt ursprung i järnet och vällsanden) vanligen har lägre halt mangan. Dock kan slag 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).

Slag från primärsmide, och från en fällsten, har huvudsakligen en sammansättning som motsvarar den hos reduktionsslag.

Smidesslagger som bildas då (ämnes)järn som är rena och nästan utan slaggineslutningar, kan också förväntas vara rena i sin sammansättning, dvs. de ämnen som är vanliga i reduktionslagger och lever kvar i slaggineslutningar (som mangan, fosfor, aluminium, kalium) förväntas var 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 slag 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 välfogar. 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 slaggerna 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)slagger bidrar de med låg halt REE till den nya slaggen vilken därmed speglar en urlakning av REE jämfört med i reduktionslaggen.

Bilaga 3. Registrering (Lena Grandin)

Inledningsvis gjordes en okulär granskning, en registrering, av allt material som lämnades in av JAMTLI. Materialet var insamlat per kontext (ugnar, slaggvarp eller olika delkontexter inom varpen t.ex. övre/undre lager). Ytterligare uppdelning gjordes i olika materialtyper som slagg, teknisk keramik och malm varvid provnummer gavs löpande till det material som beskrevs mer detaljerat (Tabell 3:1). Provnunren användes också för de prover som valdes ut för detaljerade analyser. I vissa fall gjordes ytterligare uppdelning i prov A och B inom sammaprovnnummer. Alla beskrivningar finns samlade i en fristående lista i Excel-format som inte redovisas i denna rapport.

Tabell 3:1. Översikt med undersökta kontexter (se planer) och prover från respektive kontext.

Lokal	A/L	Kontext 1	Kontext 2	Prov
L1945:9225	180	Ugn	Överst	P38–40
	180	Ugn	Övre L357	P41–44
	180	Ugn	Nedre L366	P45
	245	Slaggvarp (ugn)	Övre	P52–58
	245	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P46–51
	405	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P62–66
	405	Slaggvarp (fällsten)	Nedre	P59–61
	230	Malmupplag		MP 1–2
L2022:10033	489	Ugn	Övre L646	P15–19
	489	Ugn	Nedre L655	P20–27
	564	Slaggvarp (ugn)	Övre	P1–6
	564	Slaggvarp (ugn)	Nedre	P7–14
	546	Slaggvarp (fällsten)	Övre	P28–33, 67
	546	Slaggvarp (fällsten)	Nedre	P34–37
	449	Malmupplag		MP 3

Bilaga 4. Dataark teknisk keramik (Ole Stilborg)

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** = muskovit, **Bi** = biotit, **Iso** = isotropiskt mineral

G = granit, **VB** = vittrad bergart, **Ka** = kalksten, **Sa** = sandsten, **Ch** = chamotte, **Växt** = växt, **Org** = annan organisk magring, **Nat** = naturlig magring

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

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P39	TS 1	A180	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikt.

Mikroskopering TS1

Lera

Grovlek	G
Sortering	O
Silt	++
Finsand	*
Sand	*
Kalkhalt	
Glimmer	*
Järnoxid	+
Acc. mineral	M, AP, Bi
Växtfrgm	
Diat/fossil	
Magring	
Typ	Växt
Mängd %	?
Max. kstl.	5 mm
Max. kstl. 2	2,6 mm
\bar{X} max. kstl 2	1,5 mm

Godsstruktur i TS:
Välhomogeniserad.
En del ferrihydroxid

Provbeskrivning

Ugnsvägg

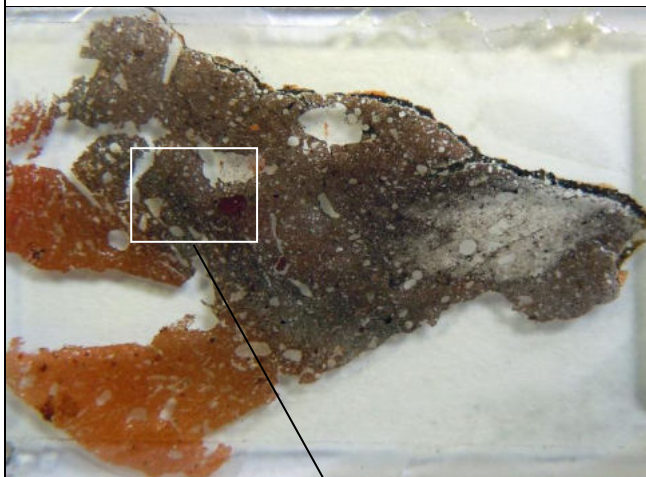
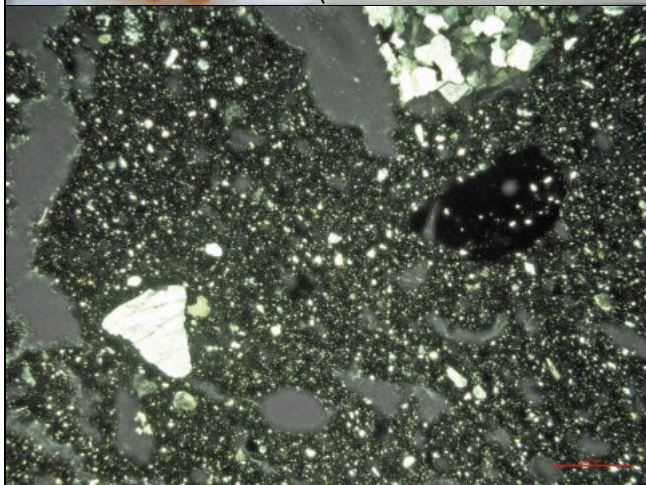


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 1.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av TS 1
som visar hålrum efter
växtmagring (pil)
Krysspolariserad med
lampda-kompensator.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P41	TS 2	L357	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS2

Lera

Grovlek	G
Sortering	O
Silt	++
Finsand	*
Sand	*

Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	?
Acc. mineral	M, AP
Växtfrgm	
Diat/fossil	

Magring

Typ	Växt
Mängd %	?
Max. kstl.	3,2 mm
Max. kstl. 2	1,9 mm
\bar{X} max. kstl 2	1,3 mm

Godsstruktur i TS:
Välhomogeniserad.

Provbeskrivning

Ugnsvägg

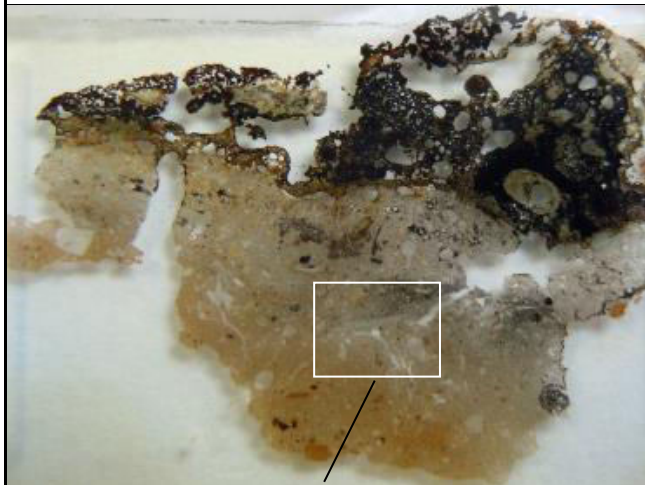
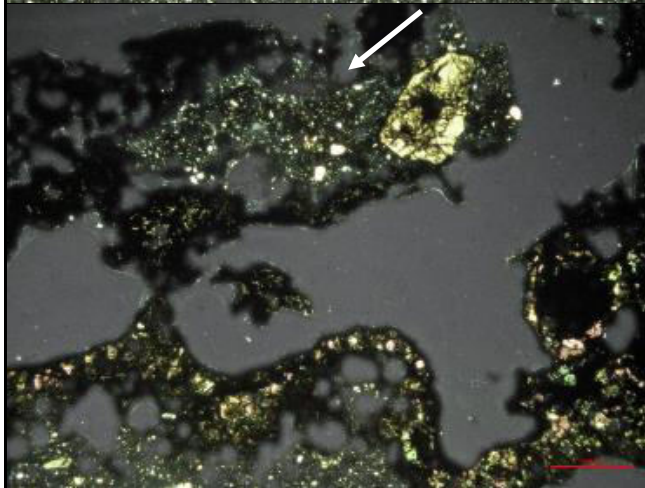


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 2.
Obs växthålrum i mitten.
Krysspolariserad.*



*Mikroskopfoto av TS 2
som visar ugnsväggs-
fragment inlagrat i
slagglager.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P42	TS 3	L357	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS3

Lera

Grovlek	G
Sortering	O
Silt	++
Finsand	*
Sand	-

Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	+
Acc. mineral	M, AP
Växtfrgm	
Diat/fossil	

Magring

Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	1,65 mm
Max. kstl. 2	
\bar{X} max. kstl	1,38 mm

Godsstruktur i TS:
Välhomogeniserad.

Provbeskrivning

Ugnsvägg

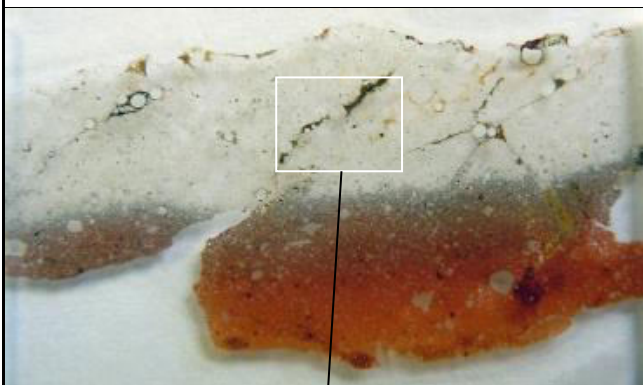


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 3.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P46	TS 4	A345	Slaggvarp	Tunnslip	Petrograf. mkr.

Mikroskopering TS4

Lera

Grovlek **M**

Sortering **S**

Silt **++**

Finsand **-**

Sand **-**

Kalkhalt

Glimmer *****

Järnoxid *****

Acc. mineral **M, AP, Bi, Z**

Växtfrgm

Diat/fossil

Magring

Typ **Gr?**

Mängd %

Max. kstl. **4,5 mm**

Max. kstl. 2

\bar{X} max. kstl **2,1 mm**

Godsstruktur i TS:

Välhomogeniserad lera.

Tillr. homogeniserad magr.

Provbeskrivning

Ugnsvägg

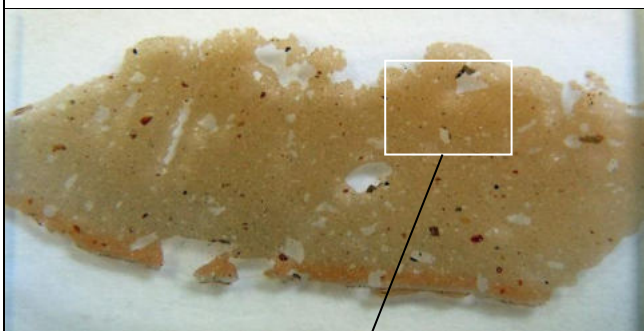
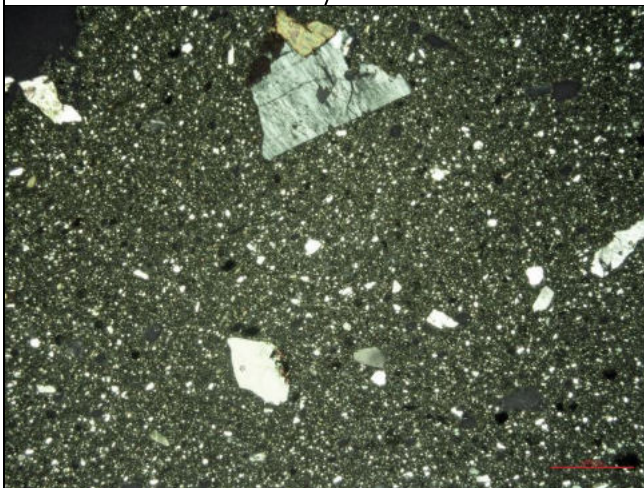


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 4
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P5	TS 5	L564	Slaggvarp	Tunnslip	Petrograf. mkr.

Mikroskopering TS5

Lera

Grovlek	G
Sortering	O
Silt	++
Finsand	*
Sand	-

Kalkhalt	
Glimmer	?
Järnoxid	+
Acc. mineral	M, AP
Växtfrgm	--
Diat/fossil	

Magring

Typ	Nat
Mängd %	
Max. kstl.	1,2 mm
Max. kstl. 2	
\bar{X} max. kstl	0,7 mm

Godsstruktur i TS:
Välhomogeniserad.

Provbeskrivning

Ugnsvägg

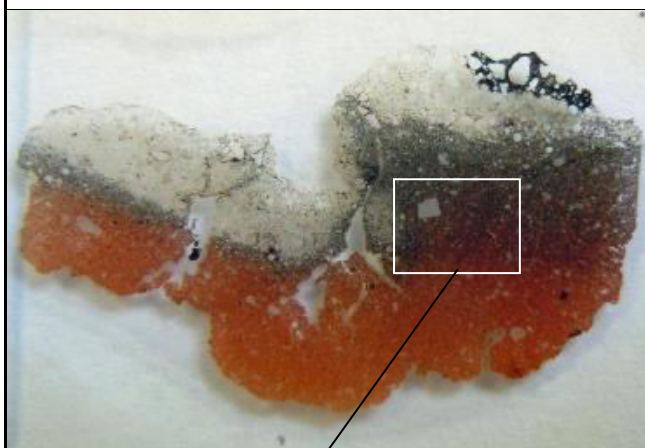


Foto av provet



*Mikroskopfoto av TS 5.
Krysspolariserad.*

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P16	TS 6	A489	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.

Mikroskopering TS6

Lera

Grovlek **M**

Sortering **O**

Silt ++

Finsand -

Sand --

Kalkhalt

Glimmer ?

Järnoxid +

Acc. mineral **M, AP**

Växtfrgm --

Diat/fossil

Magring

Typ **Nat**

Mängd %

Max. kstl. **1,1 mm**

Max. kstl. 2

\bar{X} max. kstl **0,7 mm**

Godsstruktur i TS:

Välhomogeniserad.

Provbeskrivning

Ugnsvägg

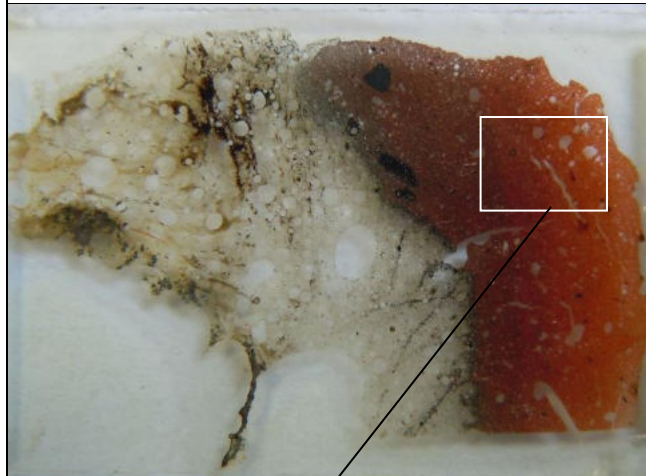
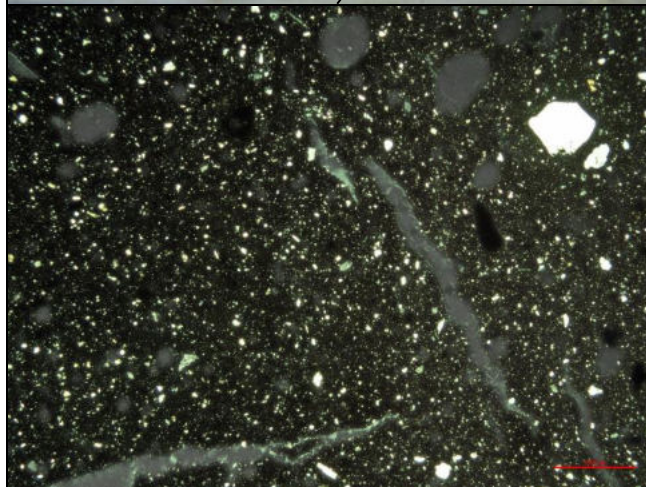
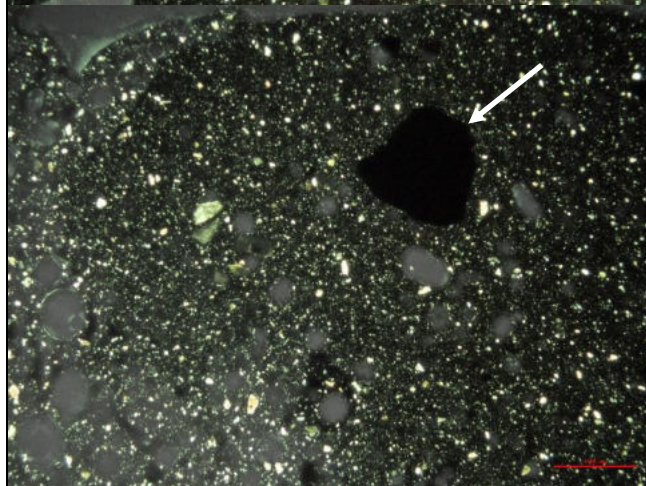


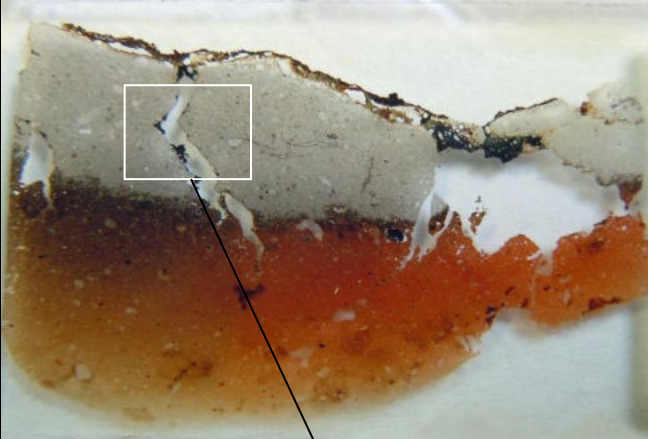
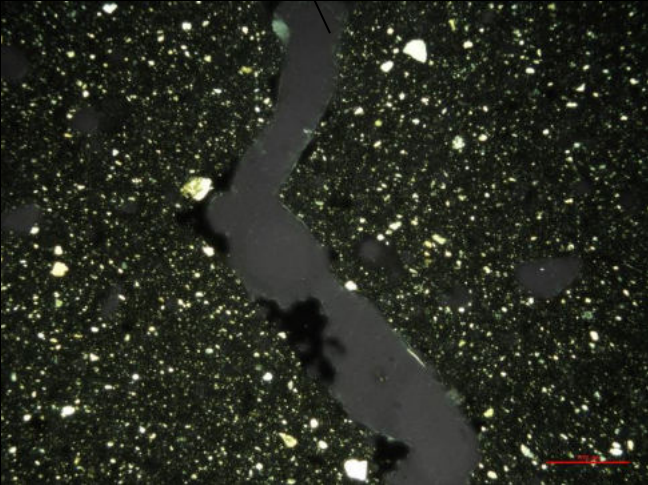
Foto av provet

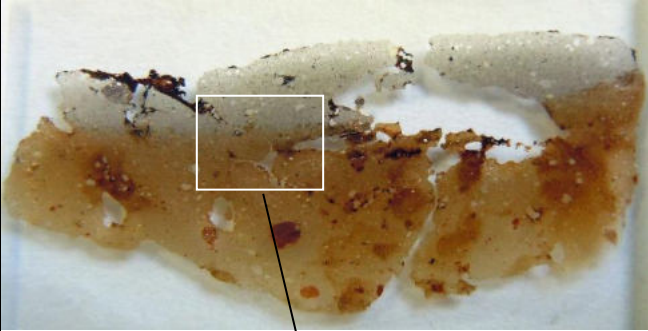
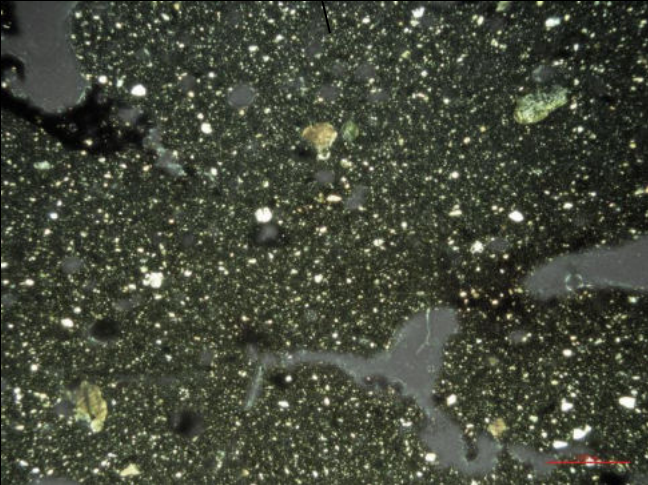


Mikroskopfoto av TS 6
Krysspolariserad.



Mikroskopfoto av stort
malmkorn (1,5 mm) i
TS 6.
Krysspolariserad.

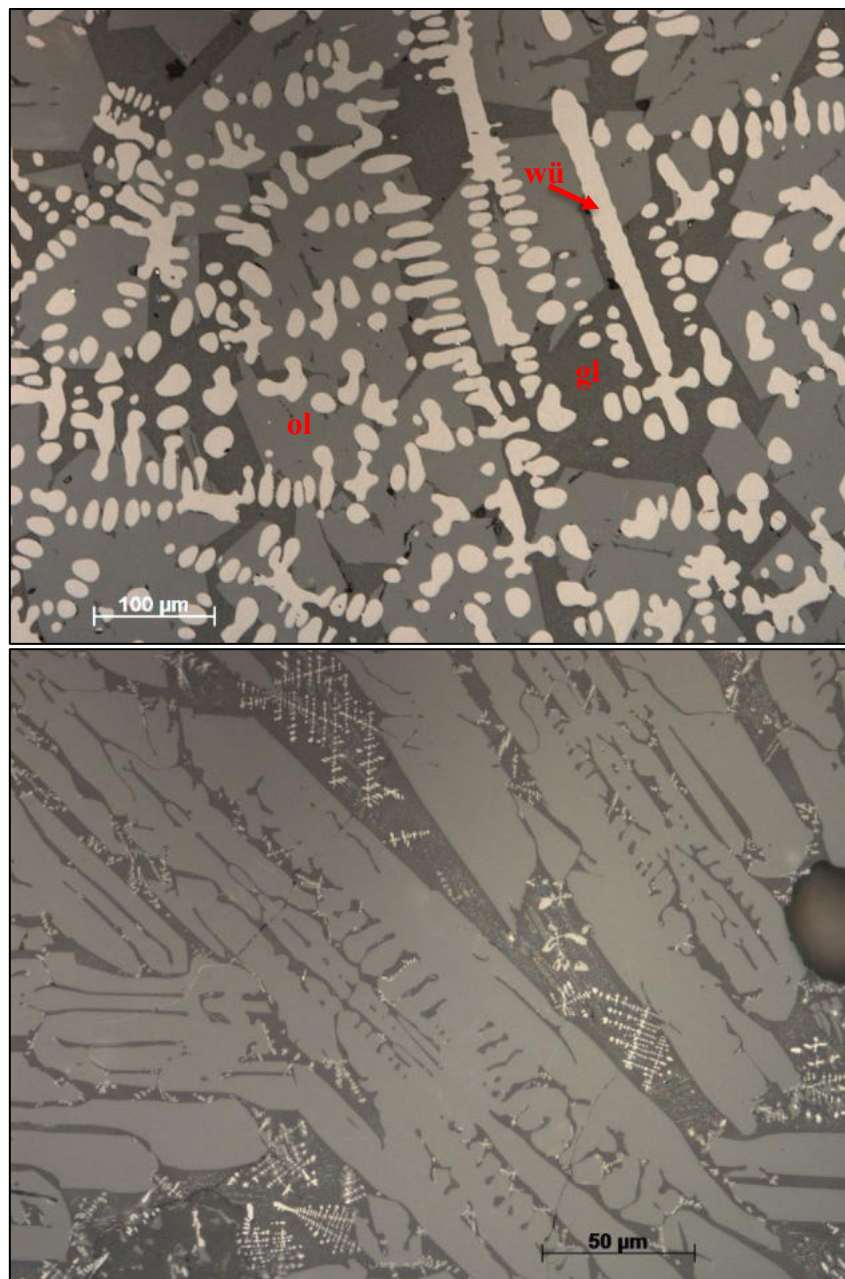
Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P18	TS 7	A489	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mkr.
Mikroskopering TS7						
<i>Lera</i>						
Grovlek	M					
Sortering	O					
Silt	++					
Finsand	-					
Sand	--					
Kalkhalt						
Glimmer	*					
Järnoxid	+					
Acc. mineral	M, AP					
Växtfrgm						
Diat/fossil						
Magring						
Typ	Nat					
Mängd %						
Max. kstl.	1,25 mm					
Max. kstl. 2						
\bar{X} max. kstl	0,8 mm					
Godsstruktur i TS:						
Välhomogeniserad.						
En del små ferrihydroxid						
Provbeskrivning						
<i>Ugnsvägg</i>						
						<i>Foto av provet</i>
						<i>Mikroskopfoto av TS 7 Krysspolariserad.</i>

Material	Fyndnr.	Provnr.	Kontext	Anl.typ	Provtyp	Analysmetod
Ugnsvägg	F/P19	TS 8	A489	Ugn	Tunnslip	Petrograf. mikr.
Mikroskopering TS8						
<i>Lera</i>						
Grovlek	G					
Sortering	O					
Silt	++					
Finsand	*					
Sand	-					
Kalkhalt						
Glimmer	*					
Järnoxid	*					
Acc. mineral	M, AP, Z					
Växtfrgm						
Diat/fossil						
Magring						
Typ	Nat					
Mängd %						
Max. kstl.	0,8 mm					
Max. kstl. 2						
\bar{X} max. kstl	0,7 mm					
Godsstruktur i TS: Välhomogeniserad.						
Provbeskrivning <i>Ugnsvägg</i>			 <p>Foto av provet</p>			
			 <p>Mikroskopfoto av TS 8 Krysspolariserad.</p>			

Bilaga 5. Analys av slagger (tunnslip) (Lena Grandin)

Tunnslipsanalyserna av slagger 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. Foton från mikroskopet visat samlat för samtliga slagger för att de lättare ska kunna jämföras med varandra.

Nedan följer inledningsvis några foton med de karaktäristiska drag och de mineral (se metodtexten, bilaga 2) som förekommer i de flesta slagger. Sedan följer analyserna för respektive slag (Fig. 5:3–5:6). För var och en av dem visas en översiktsbild (lägsta förstoringen) och en mer detaljerad bild.



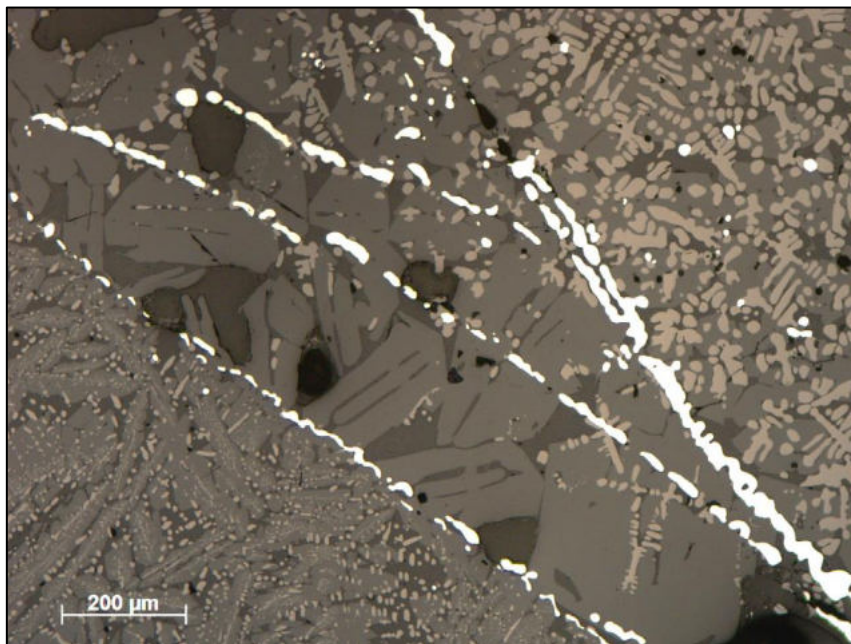
Figur 5:1. Foto från mikroskopet på två homogena slagger som visar de mineral/faser som vanligen förekommer i slagger. Olivin (ol) är ljus grå ofta långsträckta kristaller. Wüstit (wü) är ljusa, dendritiskt formade. Den mörkare grå glasfasen (gl) är den extremt finkorniga (glasiga) mellanmassan, mellan kristallerna. Övre bilden (P2) har större andel wüstit, nedre bilden (P45) lägre andel wüstit.

Mikrofotona visar därmed om slaggerna är homogent eller heterogent uppbyggda, om de är grovkorniga (långsam avkylning) eller finkornigare (snabbare avkylning).

Som beskrivs i metodtexten består slagg huvudsakligen av mineralen *olivin* och *wüstit*, mer sällan *hercynit*, samt av *glas* (Fig. 5:1). Olivin och glas förekommer i samtliga slaggar från Älvros. Olivin (järnsilikat) uppträder ofta som långsmala kristaller; i dessa slaggar varierar kornstorlek. Mineralens kornstorlekar är också betydelsefulla där finkorniga slaggar visar snabb avkylning och grovkorniga långsam avkylning. Järnoxiden *wüstit*, FeO, är också ett mycket vanligt inslag i de flesta slaggar från Älvros, men inte alla. Om höga koncentrationer av *wüstit* förekommer är slaggens totala järnhalt vanligtvis också hög (och tvärtom). *Glas* utgör slaggernas ”restsmälta” och kan variera kraftigt i sammansättning.




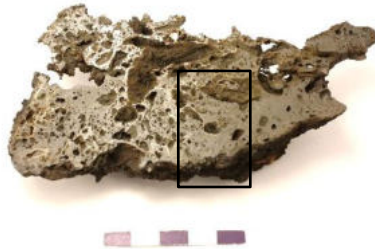

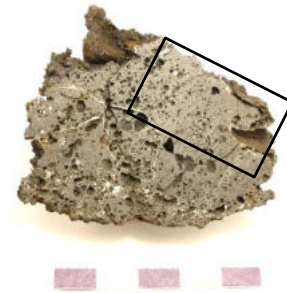




I många av slaggar från Älvros finns också metalliskt järn. I några förekommer järnet som små droppar fördelat i slaggen, i andra finns flera större ansamlingar eller rikligt med tunna strimor (Fig. 5:2), ofta i direkt anslutning till kolstycken. Flera av dessa ses redan med blotta ögat, andra blir mer tydliga i mikroskopet.

Resultaten presenteras nedan samlat per lokal, på enhetligt sätt. En första figur visar den slagg som har analyserats, såväl hela slaggen som i delat tvärsnitt, och vilken del av tvärsnittet som tunnslipet omfattar. I efterföljande figur visas foton tagna under mikroskopet. En översiktsbild i låg förstoring visar struktur och textur och en bild i högre förstoring lyfter fram detaljerna. Tillsammans med foton från mikroskopet finns en kortfattad beskrivning av respektive slagg. Dessa detaljer sammanfattas i och utvärderas i inlagan.



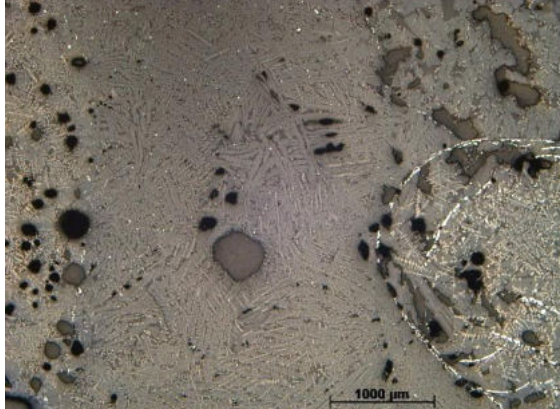
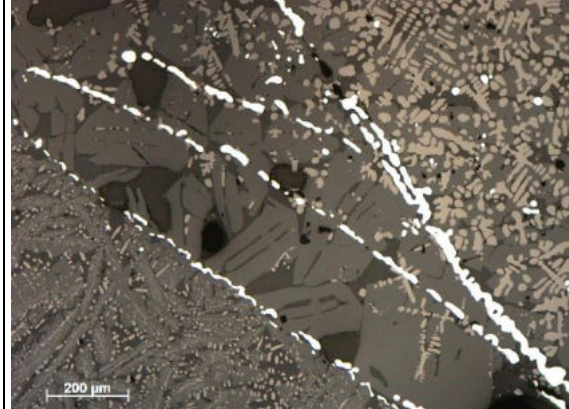
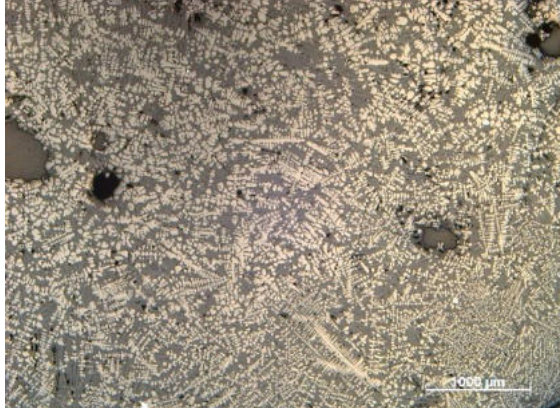
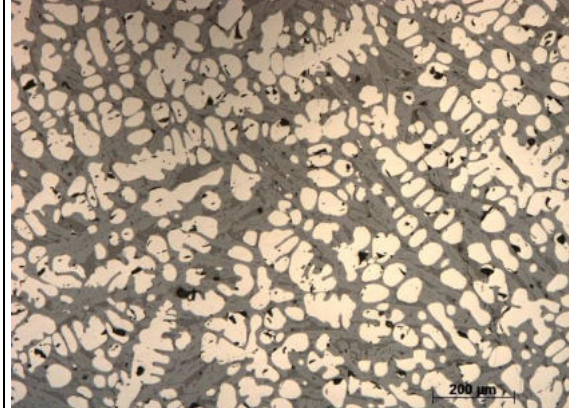
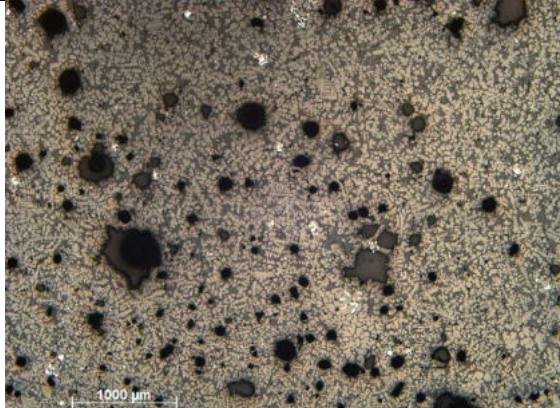
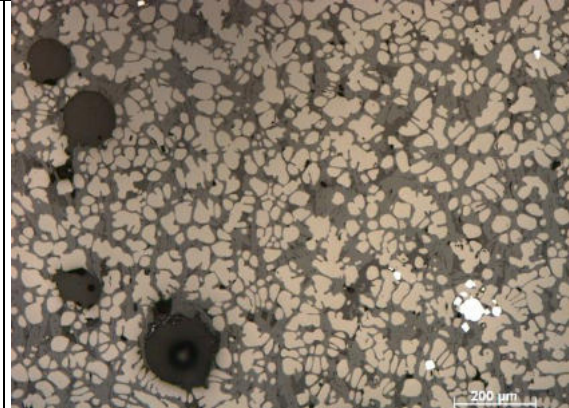


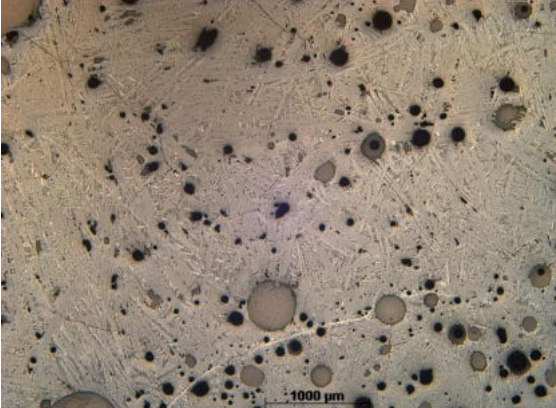
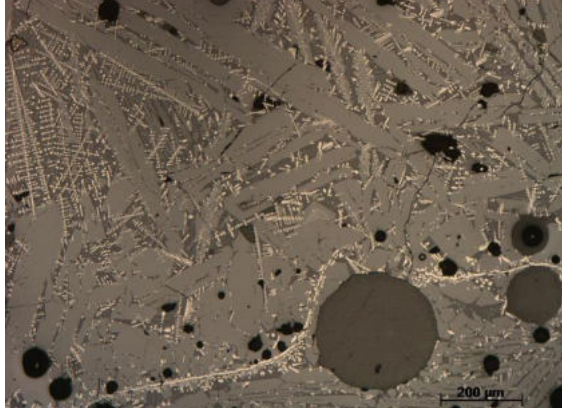
Figur 5:2. Foto från mikroskopet på slaggen i P51 som varierar i kornstorlek och innehåll av olivin och wüstit (se föregående figur). Här avgränsas de olika delarna dessutom av strimor av metalliskt järn (vit). I övre högra (wüstitrika) hörnet finns också små vita droppar av metalliskt järn.

Resultat från tunnslipsanalyserna av slagger




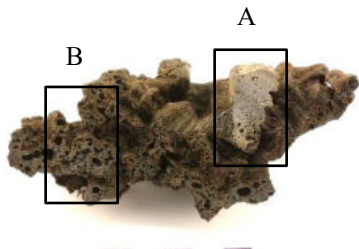








L1945	Hel slagg	Delad slagg	Notering
Ugn A180 P45			Tunn, fluten, småporig, homogen slagg.
Varp A245 P51			Trögfluten bottenlagg med sliror av metalliskt järn och kolstycken.
Varp A245 P53			Trögfluten, spröd, småporig homogen slagg, ställvis med tunna bågformade sliror av metalliskt järn.
Varp A245 P57			Bottenlagg, tät och homogen, fåtal ansamlingar av metalliskt järn.
Varp A405 P64			Två tunna flutna slagger, uppbyggda av flera slagglöden. Den till vänster, utan metall, är analyserad.

Figur 5:3. Slaggerna från blästplatsen L1945:9225 som har analyserats i mikroskop. Till vänster hel slagg sedd ovanifrån, till höger i delat tvärsnitt varifrån prov för tunnslip är taget (ruta).

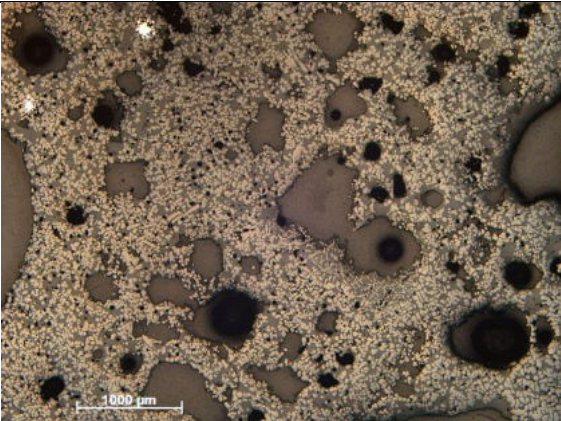
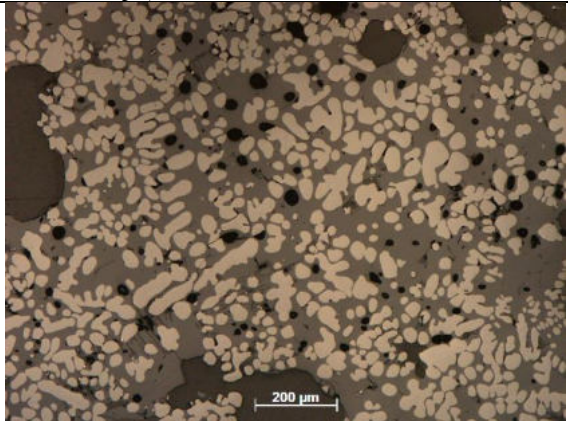
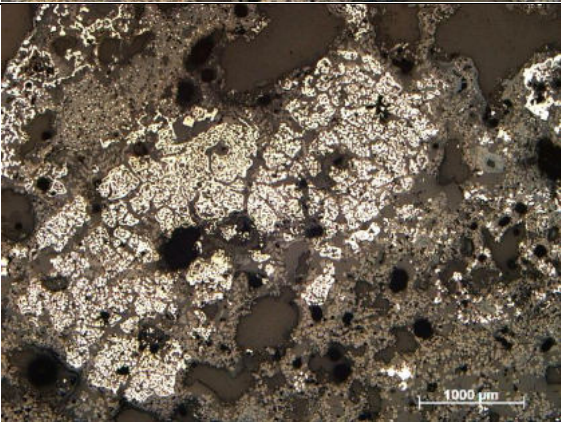
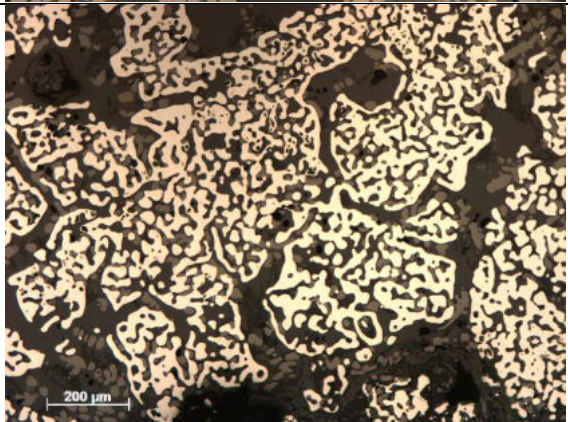
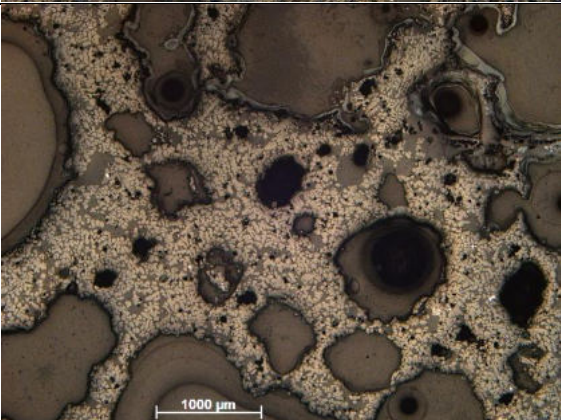
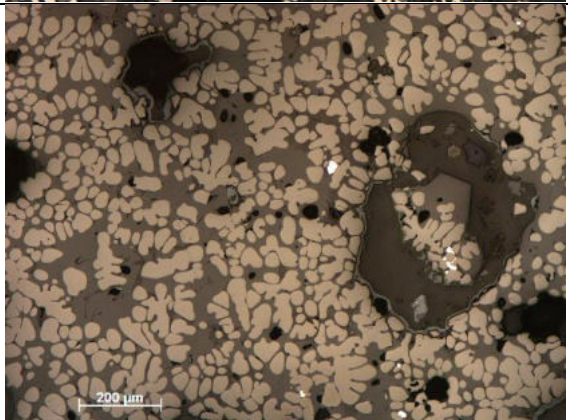
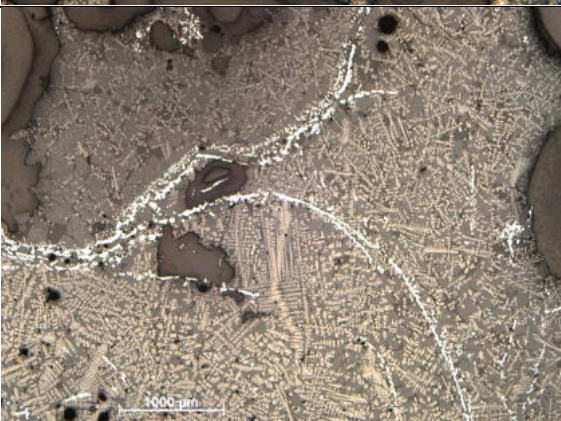
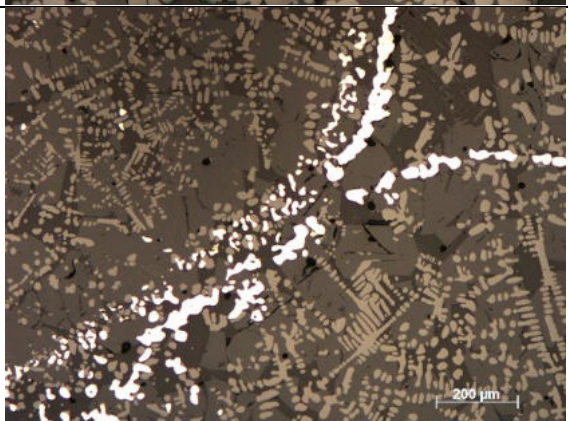
Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
Ugn A180 P45 <i>Hom. ss, rel fink. Ol,gl, (wü), ((mt)).</i>		
Varp A245 P51 <i>Heterog en, var. kornstorl ek. Ol, wü, gl, Fe.</i>		
Varp A245 P53 <i>Hom ss. Var kstlk (grovk). Wü, ol,gl, (Fe).</i>		
Varp A245 P57 <i>Hom ss. Grovk. Wü, ol,gl, Fe.</i>		
		Fortsättning nästa sida

Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
Varp A405 P64 <i>Hom. ss,</i> <i>rel fink.</i> <i>Ol,gl,</i> <i>wü, (mt).</i>		

Figur 5:4. Mikrofoton på de analyserade slaggerna från blästplatsen L1945:9225. För varje slag visas till vänster en översiktsbild där homogenitet/heterogenitet samt porer (svarta och grå fläckar) framträder. Till höger ses en detaljbild som visar proportionerna mellan t.ex. olivin och wüstit, samt förekomst/avsaknad av metalliskt järn och glas. Se schematiskt mikrofoto Fig. 5:1–5:2 som referens. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer (i fallande ordning): Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit, mt=magnetit, samt Fe = metalliskt järn (små vita droppar eller tunna strimmor).

L2022	Hel slag	Delad slag	Notering
Ugn A489 P20			Trögfluten bottenlagg, flera slagglöden och ansamlingar av metalliskt järn. Tunnslip vinkelrätt tvärsnitt.
Ugn A489 P21			Oregelbunden lag med stearinformade strängar (tunnslip B). Större inkapslade fragment av gråbränd lera (tunnslip A).
Varp A564 P2			Större bottenlagg. Tunnslip (vinkelrätt tvärsnittet), kontakt tätareporösare slag, bågformade, tunna sliror av metalliskt järn.
Varp A564 P7			Större, storporig bottenlagg med stearinformade slagsträngar, Rikligt med tunna strimlor av metalliskt järn, bl.a. runt kolstycken,
Varp A546 P29			Större bottenlagg, porig, flera ansamlingar av metalliskt järn.
Varp A546 P35			Tunna, flutna, slagger. Den analyserade är homogen slag, mestadels småporig.

Figur 5:5. Slaggen från blästplatsen L2022:10033 som har analyserats i mikroskop. Till vänster hel slag, till höger i delat tvärsnitt varifrån prov för tunnslip är taget (ruta/infällt).






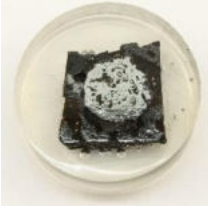



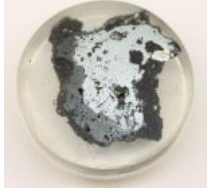

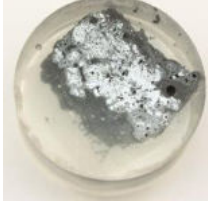
Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
Ugn A489 P20 Nedre del med lite järn. Hom. ss, rel grovk. Wü, ol, gl, (Fe).		
Ugn A489 P20 Övre del med mer järn. Rel grovk. Fe, wü, ol, gl.		
Ugn A489 P21B Hom. ss, rel grovk. Wü, ol, gl, (Fe) P21A se fig. 15, 33.		
Varp A564 P2 Heterogen, var. kornstorlek. Var prop.: ol, wü, gl, Fe.		
		Fortsättning nästa sida

Prov	Översikt (skalstreck 1000 mikrometer)	Detalj (skalstreck 200 mikrometer)
Varp A564 P7 <i>Rel. hom. ss, rel grovk. ol, wü, gl, Fe.</i>		
Varp A546 P29 <i>Hom. ss, rel grovk. Wü, ol, gl, Fe.</i>		
Varp A546 P35 <i>Hom. ss, rel fink. ol, gl, (wü), (Fe).</i>		

Figur 5:6. Mikrofoton på de analyserade slaggerna från blästplatsen L2022:10033. För varje slag visas till vänster en översiktsbild där homogenitet/heterogenitet samt porer (svarta och grå fläckar) framträder. Till höger ses en detaljbild som visar proportionerna mellan t.ex. olivin och wüstit, samt förekomst/avsaknad av metalliskt järn och glas. Se schematiskt mikrofoto Fig. 5:1–5:2 som referens. Tillsammans med provnumret anges också vilka mineral/faser som förekommer (i fallande ordning): Ol= olivin, gl= glas, wü= wüstit samt Fe = metalliskt järn (små vita droppar eller tunna strimmor).

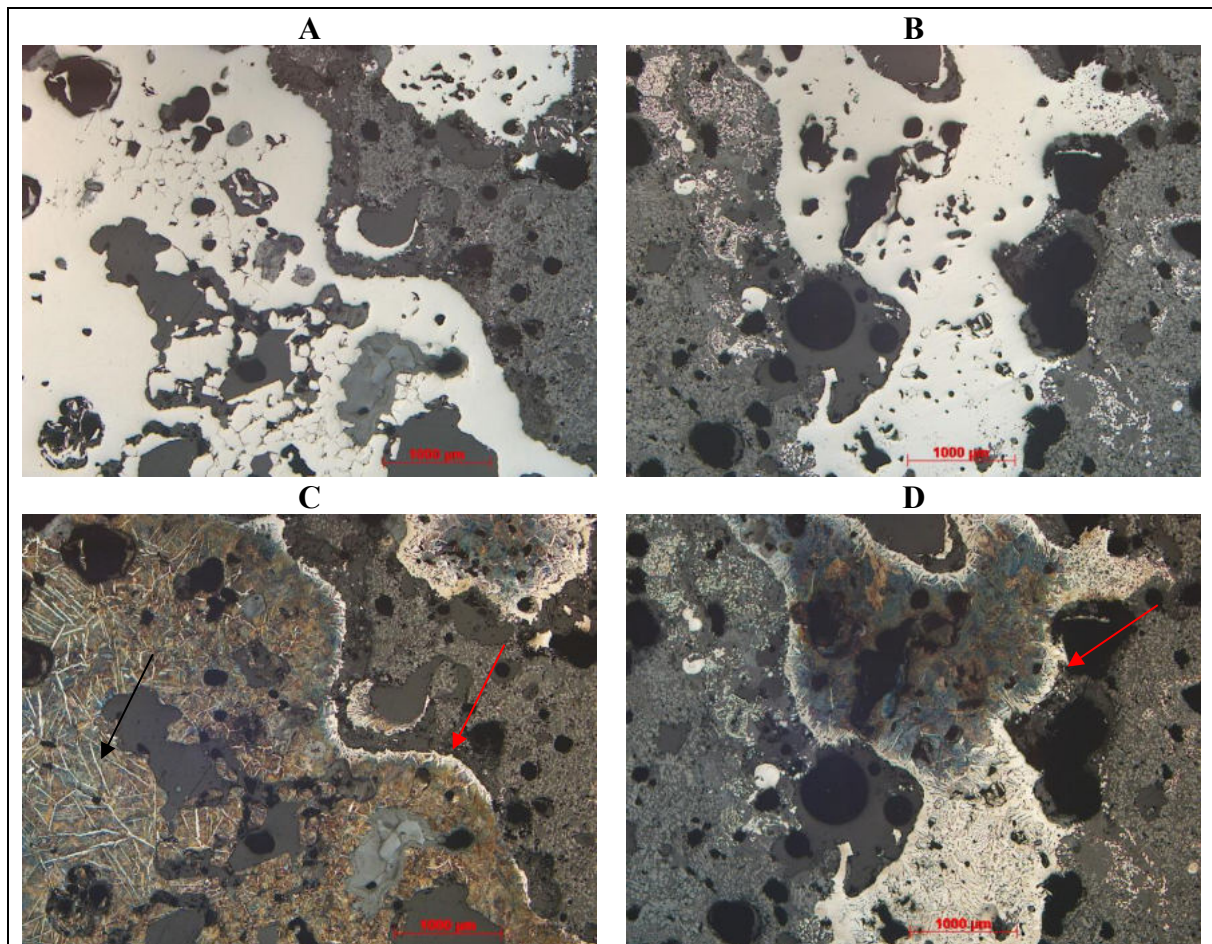
Bilaga 6. Analys av järn (polerprov) (Lena Grandin)

De ingjutna järnproven (Fig. 6:1–6:7) har först polerats och undersökts för att bedöma järn- och slagginnehåll. Därefter etsades varje prov med 2 % nitallösning, som påverkar metallen olika beroende kolinnehållet (Se bilaga 2). Några termer som används i resultaten för att beskriva järnet omfattar ferrit som är det mjuka (rena) järnet utan kol och som framträder som ljus bruna korn. Cementit som är en förening av järn och kol ses i etsade provet som tunna blå linjer i ferritens kornkontakter. Perlittexturen är uppbyggd av lameller med omväxlande ferrit och cementit och ses ofta som en brunblå kornstruktur. Generellt medför en större mängd perlit en högre kolhalt och ett hårdare järn. I gjutjärn är kolhalten ännu högre och en struktur som kan bildas vid avsvälning i vitt gjutjärn är ledeburit, som består av en blandning av cementit och perlit.

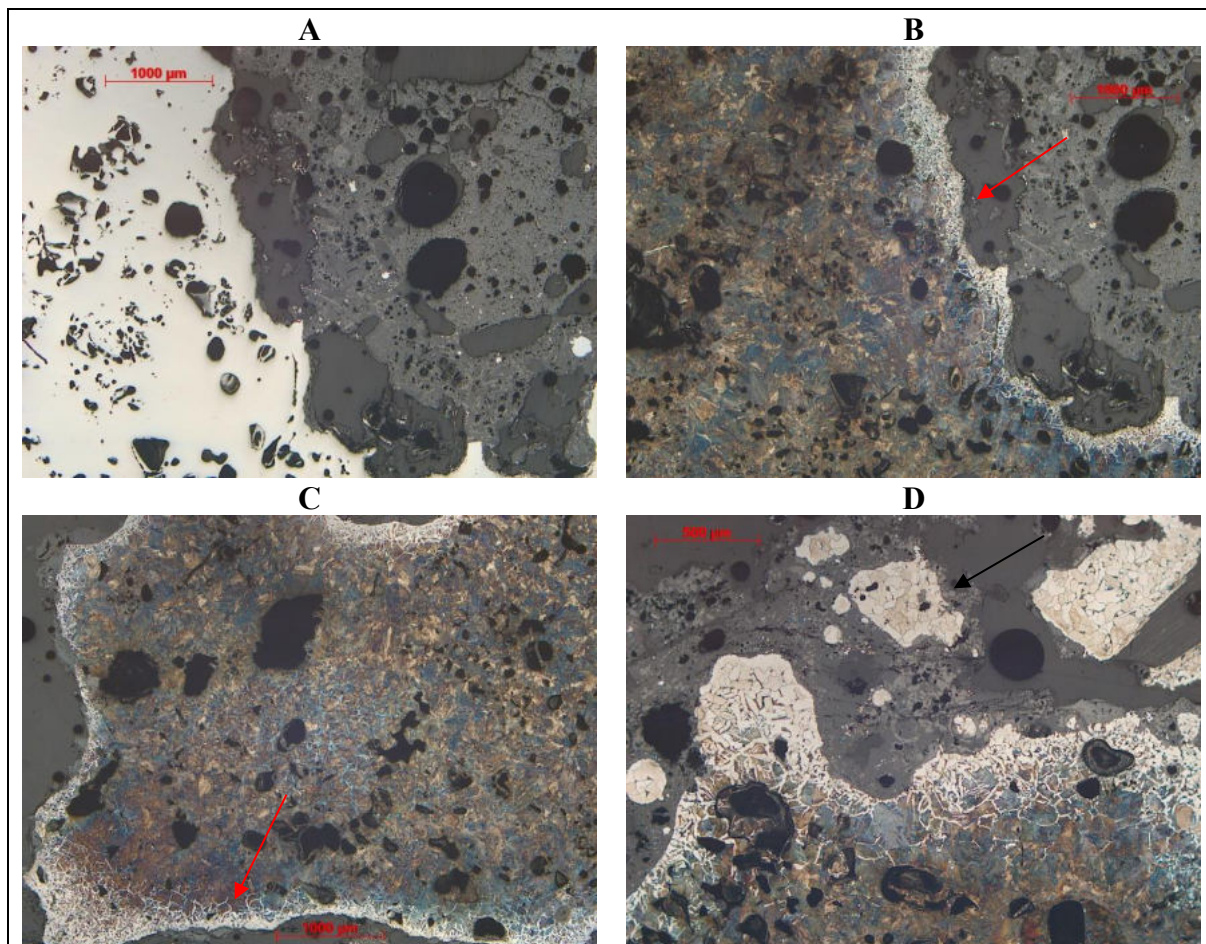
Prov	Slagg med järn	Polerprov järn	Notering
L1945 Varp A245 P53B			Tunnare slagg (5-15 mm) som är homogen, något porös och med ansamling av metalliskt järn (pvov) och tunna sliror av järn
L1945 Varp A245 P58A			Stor bottenslagg, med några (större) ansamlingar av järn A: tvärsnitt med oregelbunden järnformation.
L1945 Varp A245 P58B			B: tvärsnitt med rund järnformation.
L1945 Varp A405 P63			Oregelbunden tät, slagg med flera järnansamlingar upp till 15 mm stora
L2022 Varp A564 P3			Flera tyngre magnetiska klumpar. Innehåller metalliskt järn omgivet av slagg (prov).
L2022 Varp A546 P31			Tunn, trögfluten något spröd slagg. I delat tvärsnitt: svampigt, metalliskt järn med en del hålrum och omgivande slagg.

Figur 6:1. Järn, inneslutet i slagg, som har analyserats. Till vänster hela eller delade biten, till höger det analyserade polerprovet (diameter 25 mm).

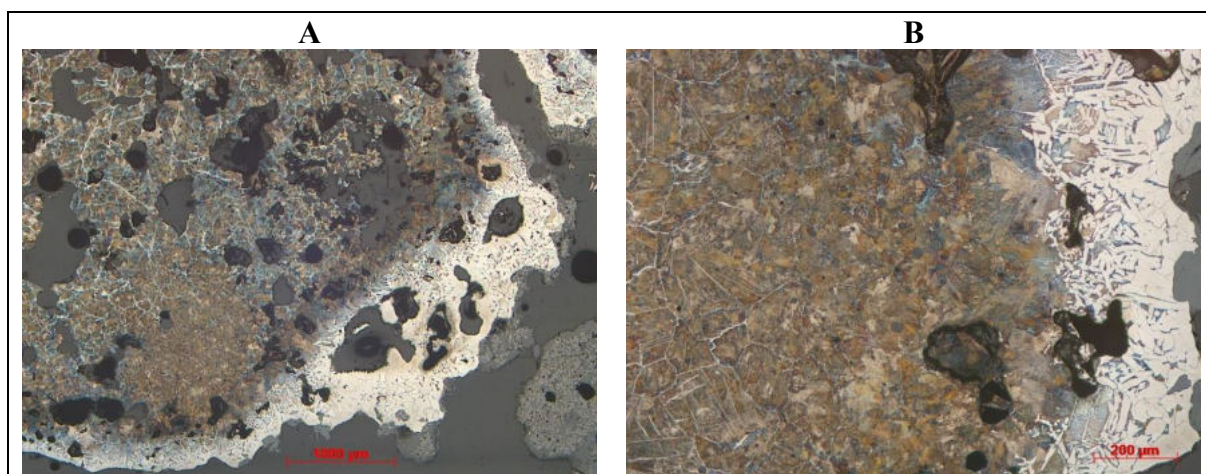
Resultat från analyserna av det metalliska järnet



Figur 6:2. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P53B, från blästplatsen L1945:9225. Översiktsbilder på det metalliska järnet i tätare koncentrationer och mer finfördelat, omgivet av wüstitrik slagg. A och B visar enbart polerade prover. C och D visar samma utsnitt av etsade prover. I både C och D ses blåbruna ytor som domineras av perlit, dvs. järn med hög kolhalt. Längst till vänster i C ses också tunna lameller av cementit (svart pil), vilket tyder på en ännu högre kolhalt. I ytterkanten (exempel vid röd pil) av respektive metallkoncentration (vita zoner) i kontakt med slaggen är kolhalten låg.



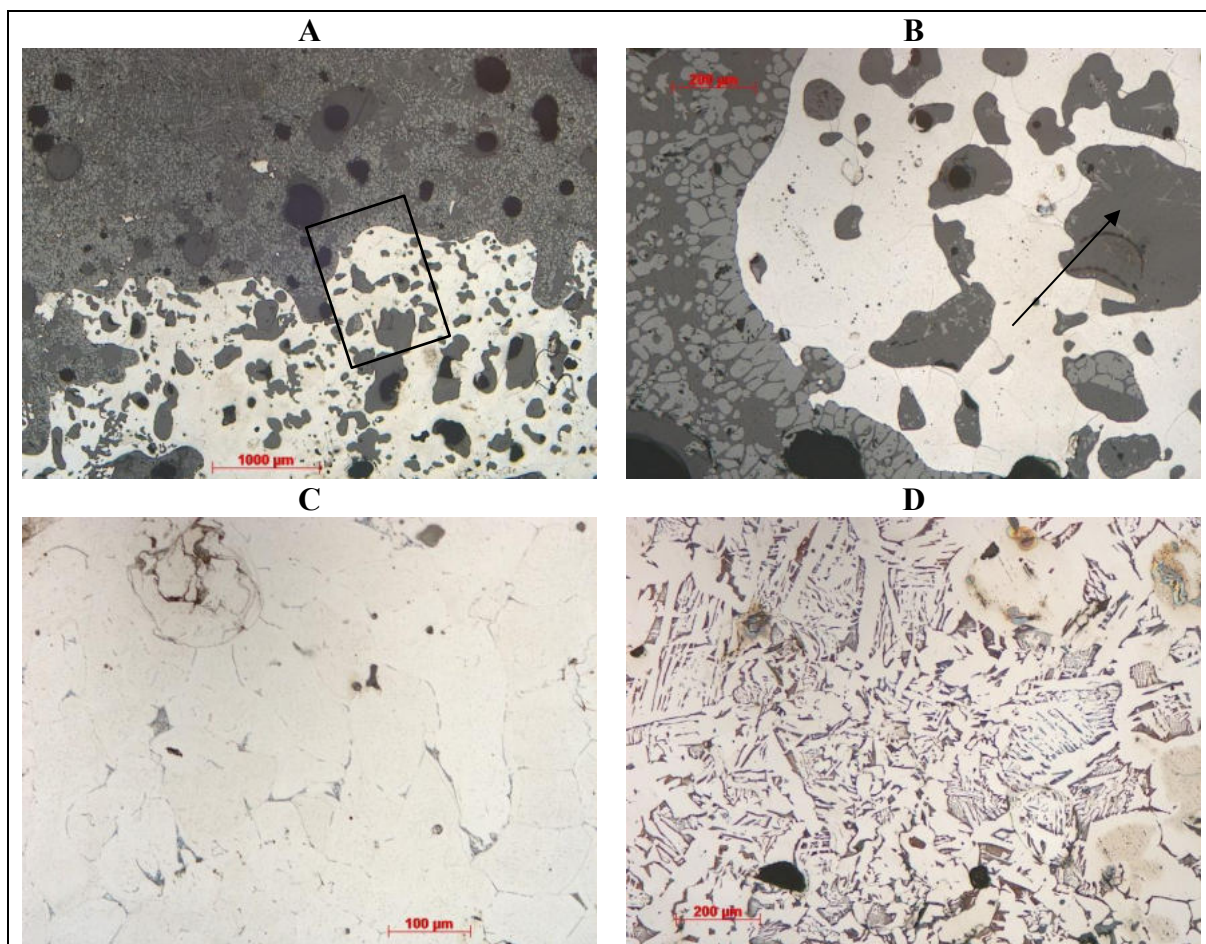
Figur 6:3. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P58A, från blästplatsen L1945:9225. A: översiktsbild på det polerade provet med järn till vänster och wüstitrik slag till höger. B: samma utsnitt på provet efter etsning som visar blåbruna ytor som domineras av perlit, dvs. järn med hög kolhalt. En tunn zon (vit) i kontakt med slaggen är kolfri (röd pil). C: Ett område som domineras av metall (etsat prov) som tydligt visar den avtagande kolhalten mot den vita ytterkanten. D: högre förstoring som visar motsvarande avtagande kolhalt till nästan kolfritt järn (ferrit) även i de mindre öarna av metall (svart pil).



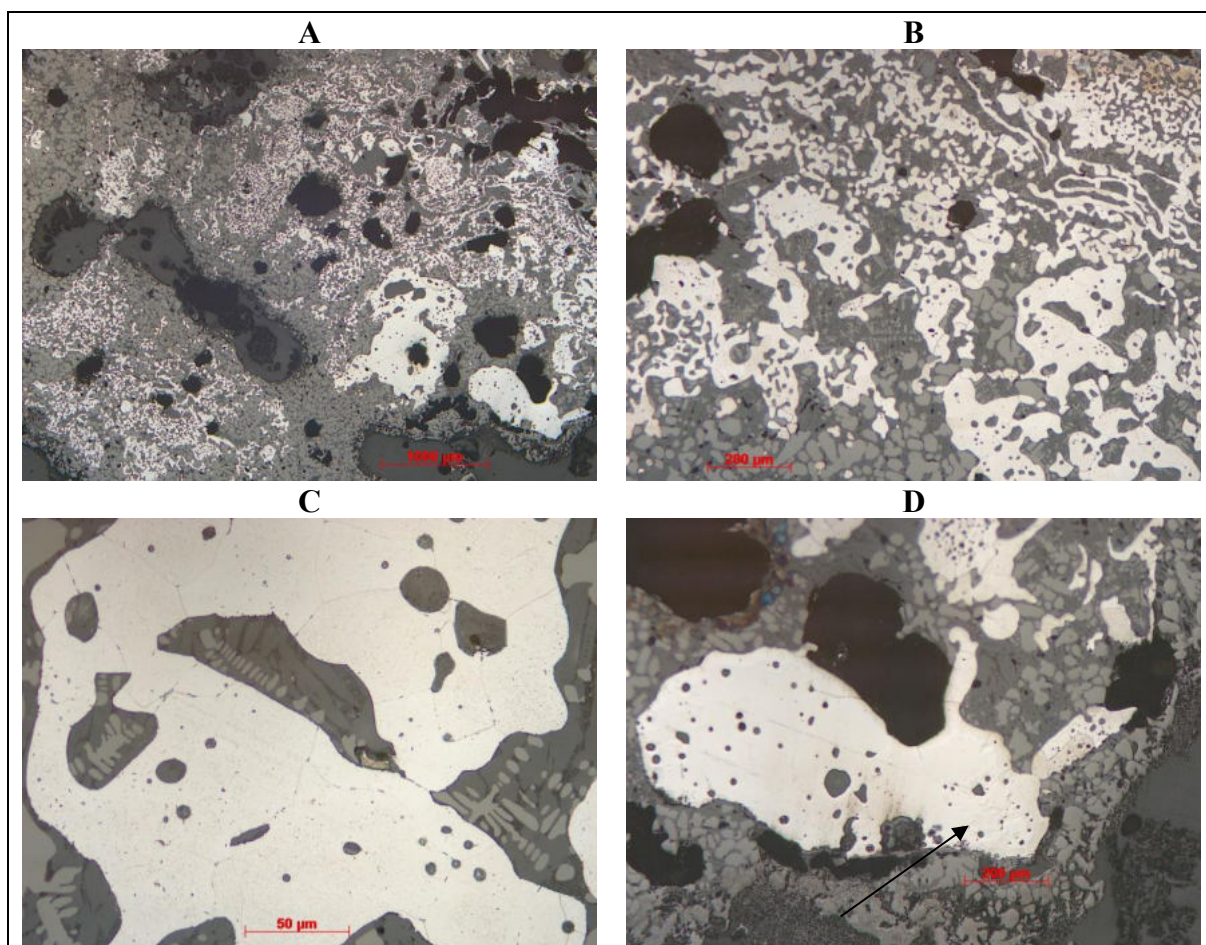
Figur 6:4. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P58B, från blästplatsen L1945:9225. A: översiktsbild på det polerade och etsade provet blåbruna ytor som domineras av perlit, dvs. järn med hög kolhalt. En tunn zon (vit) i kanten är kolfri. B: detalj på den avtagande kolhalten mot den vita kanten till höger i bilden.



Figur 6:5. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P63, från blästplatsen L1945:9225. A: översiktsbild på det polerade och etsade provet med en avtagande kolhalt mot ytterkanten. I detta prov är kolhalten ännu högre i kärnan än i föregående figurer, med gjutjärn (vita lameller av cementit). En blåbrun zon med perlit närmare kanten har motsvarande kolhalt som P53 och p58, samt en yttre ljus zon med låg kolhalt (ferrit och lite perlit). B: detalj på kanten från rutan i A.



Figur 6:6. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P3, från blästplatsen L2022:10033. A: översikt med metalliskt järn (vitt) med mycket hålrum (mörkt grå) i nedre delen, i övre delen wüstitrik slagg. Provet är etsat och i metallen anas en textur med ferritkorn (fält i ljus bruna nyanser) med linjer i kornkontakterna, dvs. kolfattigt järn (Se C). B: Detalj från rutan i A. Här ses också finkornigare och olivinrikare slagginslutningar (vid pilen). C: detalj som tydligare visar texturen med ferritkorn kantade av tunna linjer av cementit. D: översikt från ett område med högre kolhalt (mer perlit/cementit i blåbruna fält).



Figur 6:7. Foton från mikroskopet på analyserat järn, P31, från blästplatsen L2022:10033. A: översikt med metalliskt järn (vitt) i större koncentrationer till höger och mer finfördelat till vänster, omgivet av wüstitrik slagg och hålrum (svart). B: detalj på etsat prov där en textur med ferritkorn (fält i ljus bruna nyanser) med linjer i kornkontakterna ses. C: detalj som tydligare lyfter fram ferritkornen. D: detalj från ett område med ferritkorn och en diffus topografisk textur (vid pilen) som tyder på ett fosforinnehåll.

Bilaga 7. Kemisk analys av malm och slagg. Analystabell, diagram och utvärdering. (Lena Grandin)

Bakgrund, förutsättningar och upplägg av resultaten

Resultaten från de totalkemiska analyserna återfinns i sin helhet i tabellen denna bilaga. Nedan presenteras resultaten för slaggerna och malmerna från de båda aktuella järnframställningsplatsen med utgångspunkt i några utvalda huvudämnen och spårämnen. Fokus i utvärderingen är jämförelse ur några olika infallsvinklar:

- slagger från de olika kontexterna (ugn, slaggvarp, fällstensvarp) inom varje blästplats
- slagger av olika typ; trögfluten (typ 1) och fluten (typ 2)
- slagger från de båda blästplatserna
- slagger och malmer

Några av dessa skillnader (bl.a. järn- och kiselinhåll) kan främst knytas till *processen*, medan andra skillnader (mangan- och fosforinhåll samt 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. Den kemiska sammansättningen kan därmed visa likheter ur en aspekt, men skillnader ur en annan. Några viktiga punkter lyfts fram i utvärderingen nedan.

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.

De flesta slaggerna har höga halter av järn. Järninnehållet redovisas, enligt standard som oxider oavsett i vilken form det förekommer. I dessa slagger vet vi från analyserna i mikroskop (bilaga 5) att järnet främst förekommer som järnoxid (mineralet wüstit) och järnsilikat (mineralet olivin). I flera slagger förekommer också ansamlingar av metalliskt järn som också bidrar till totalhalten. Proverna har dock valts för den kemiska analysen i delar av slaggen som har minimalt med metall, men man bör ha i åtanke att om mer eller mindre metall har ingått kan det påverka resultaten med några viktprocent nedåt eller uppåt. I de analyserade slaggerna framträder dock två grupper. I den ena gruppen ingår slagger som tidigare har klassificerats som typ 1, dvs. de trögflutna, grovkorniga bottenlaggerna som innehåller stora mängder wüstit. I dessa varierar järnhalten mellan 72 och 89 % (angivet som Fe_2O_3 i tabell 7:1; Fig. 7:1). Kiselhalten i dessa varierar mellan 10 och 18 % (SiO_2).

I den andra gruppen återfinns de mer lättflutna, finkorniga slaggerna som förts till typ 2 och som har betydligt lägre halter wüstit (eller saknar wüstit). I dessa är järnhalten 57–69 % (som Fe_2O_3). Kiselhalten i dessa är följaktligen också betydligt högre än slaggerna i typ 1: 27–31 % SiO_2 .

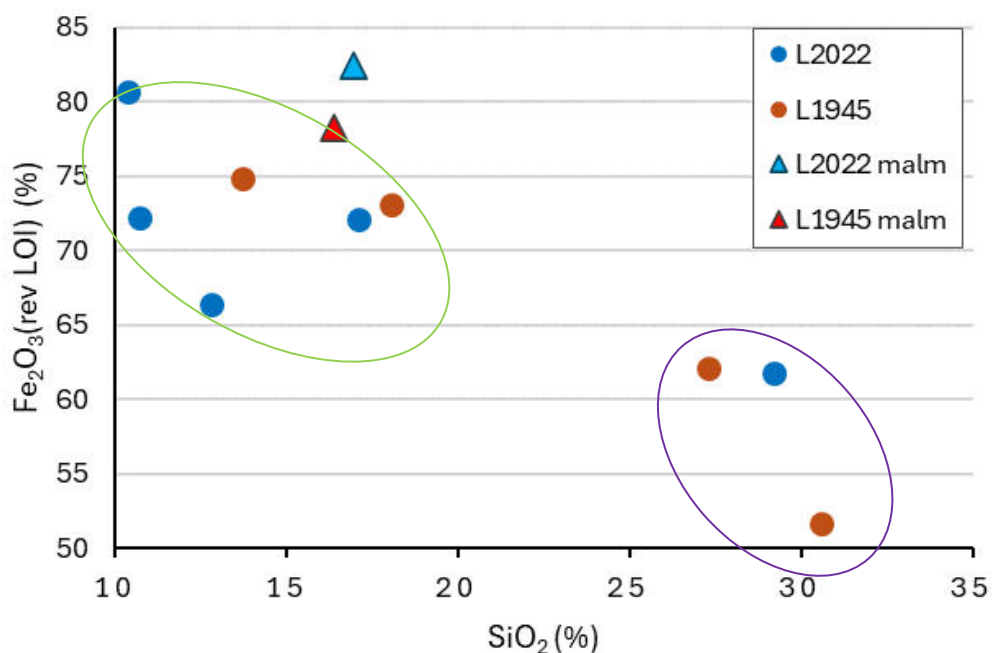
Bland övriga ämnen förekommer aluminium, (varierande från drygt 1 till drygt 4 % Al_2O_3), kalcium (1,4–2,3 % CaO), kalium (några tiondels % i slaggtyp 1 och drygt 1 % K_2O i slaggtyp 2), samt magnesium och natrium (några tiondels % MgO och Na_2O). Dessa ämnen kan förekomma i malmerna, och är också noterade i lägre halter i de båda analyserade malmer. Framförallt aluminium och kalium skulle teoretiskt kunna komma från inblandning av leran i ugnsväggen men den är sannolikt marginell i detta fall, bl.a. eftersom ämnena förekommer i malmerna. Bränslet i form av träkol kan också ha bidragit, bl.a. kalcium som är högre i slaggerna än i malmerna.

I slaggerna framkommer att skillnaderna i järn är mer omfattande än skillnaderna i kisel vilket tyder på att ytterligare något ämne förekommer i tämligen höga halter. Resultaten visar att det mangan som varierar (1–12 % MnO). Såväl högre som lägre halter förekommer i slagger från båda blästplatserna, såväl som i slagger av typ 1 och typ 2 (Fig. 7:2).

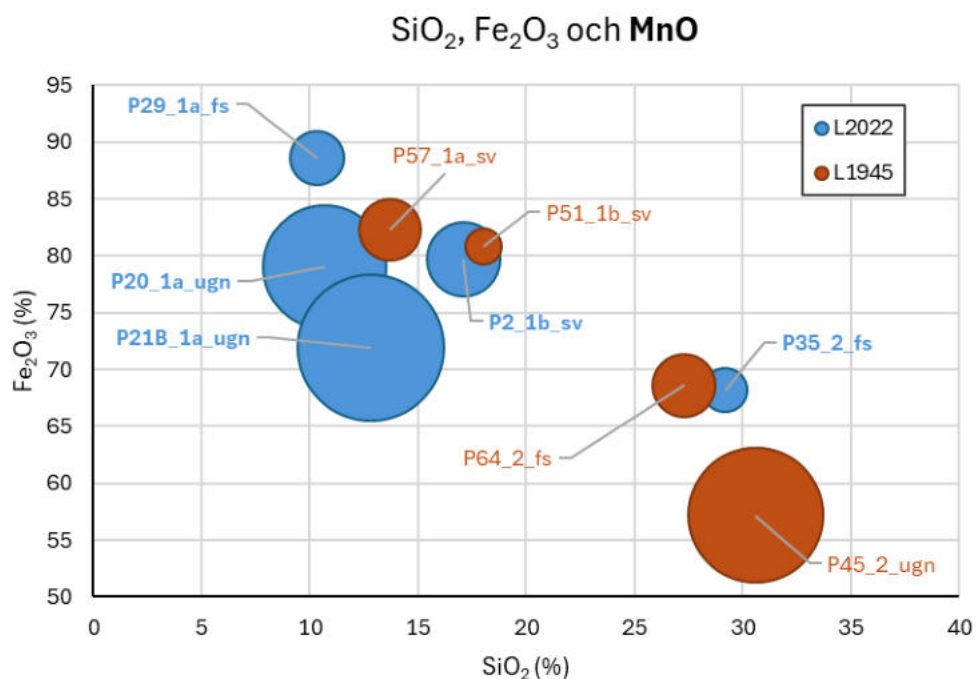
Även malmerna domineras av järn och kisel. De innehåller också mangan (0,8 respektive 1,7 % MnO), men dock inte så höga halter som skulle förväntas för att kunna matcha de högsta halterna i slaggerna (även om andelen mangan i en slagg förväntas var högre än i använd malm, se metodtext i bilaga 2). Det innebär att malmer med ännu högre manganhalter också har använts, på båda platserna.

Plats	Prov	L2022:10033					L1945:9225				L1945:9225	L2022:10033	
		P2	P20	P21B	P29	P35	P45	P51	P57	P64	MP2	MP3	
	SiO ₂	wikt-%	17,1	10,7	12,8	10,4	29,2	30,6	18,1	13,7	27,3	16,4	17,0
	TiO ₂	wikt-%	0,08	0,05	0,06	0,05	0,17	0,25	0,09	0,09	0,17	0,09	0,11
	Al ₂ O ₃	wikt-%	2,71	1,16	1,56	1,36	3,68	4,34	2,80	4,54	4,24	2,08	1,92
	Fe ₂ O ₃	wikt-%	79,7	79,0	71,9	88,6	68,2	57,2	80,8	82,3	68,6	70,1	59,2
	MnO	wikt-%	3,08	8,71	12,20	1,68	1,12	10,30	0,72	2,14	2,30	0,78	1,70
	MgO	wikt-%	0,40	0,43	0,55	0,32	0,52	0,49	0,28	0,41	0,37	0,10	0,09
	CaO	wikt-%	2,15	2,01	2,29	1,58	1,96	1,54	1,54	1,88	1,40	0,51	0,24
	Na ₂ O	wikt-%	0,21	0,13	0,17	0,14	0,60	0,67	0,42	0,24	0,67	0,30	0,29
	K ₂ O	wikt-%	0,62	0,25	0,26	0,36	1,14	1,25	0,76	0,60	1,34	0,42	0,47
	Cr ₂ O ₃	wikt-%	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	<0,002	<0,002
	P ₂ O ₅	wikt-%	0,32	2,83	2,75	2,22	0,44	0,36	0,90	0,50	0,45	0,2	0,34
	SrO	wikt-%	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01
	BaO	wikt-%	0,09	0,18	0,23	0,05	0,05	0,26	0,04	0,07	0,09	0,03	0,04
	C	wikt-%	0,03	0,06	0,07	0,05	0,03	0,07	0,02	0,05	0,05	1,99	6,28
	S	wikt-%	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	<0,01	0,01
	Loss	wikt-%	-7,56	-6,81	-5,47	-7,85	-6,42	-5,56	-7,64	-7,47	-6,51	8,16	16,95
	Sum	wikt-%	98,9	98,7	99,3	98,9	100,7	101,7	98,8	99,0	100,4	99,1	98,3
	Li	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Sc	ppm	2	1	1	1	5	3	3	2	3	1	1
	V	ppm	67	27	21	24	173	69	169	124	75	28	29
	Cr	ppm	15	7	7	6	36	21	25	23	23	9	10
	Co	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	16	2	3	<1	38	20
	Ni	ppm	3	1	6	4	4	4	5	3	5	1	3
	Cu	ppm	5	4	3	3	2	4	4	3	2	6	5
	Zn	ppm	3	5	3	7	4	19	6	7	8	20	45
	Ga	ppm	2	3,3	4,4	1,8	2,7	7,2	2,3	2,3	3,6	2,4	3
	Ge	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	As	ppm	0,1	1	0,2	2,5	0,1	0,3	5,1	0,8	0,1	7,5	28,7
	Se	ppm	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,8	0,6	0,5	0,3	0,7	1,1
	Rb	ppm	12,6	4,7	4,6	7,7	30,6	34	18,1	15,5	37,8	11,7	16
	Sr	ppm	109,5	139,5	172,5	77,4	111	100,5	92,8	75,3	97,1	42,9	30
	Y	ppm	29,8	5	7,1	9,4	61	9,4	56	24,7	51,7	11,5	7,8
	Zr	ppm	49	16	21	22	114	148	73	63	94	45	59
	Nb	ppm	1,94	1	1,26	1,02	3,78	4,84	3,14	3,52	4,49	2,21	2,75
	Mo	ppm	1	3	1	3	1	<1	6	12	1	14	25
	Ag	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,3	0,3
	Cd	ppm	0,8	1	0,7	0,7	0,5	0,6	0,8	<0,5	0,6	<0,5	<0,5
	In	ppm	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,013
	Sn	ppm	0,5	0,6	0,6	<0,5	0,5	0,5	<0,5	<0,5	0,5	0,5	1,3
	Sb	ppm	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,38
	Te	ppm	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,03	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01
	Cs	ppm	0,13	0,05	0,03	0,05	0,4	0,94	0,19	0,17	0,55	0,23	0,25
	Ba	ppm	792	1530	2100	442	461	2360	369	621	794	225	375
	La	ppm	34,4	6,5	8,5	11,8	39,2	11	61	22	45,9	11,4	8,4
	Ce	ppm	90	14,8	23,3	30,4	91,5	42,8	132	69,2	108	23,6	24,5
	Pr	ppm	9,32	1,55	2,14	3,27	10,5	2,89	16,4	6,23	12,65	2,95	1,93
	Nd	ppm	34,7	5,5	7,6	12	42	11,4	63,1	23,9	52,4	11,8	7,2
	Sm	ppm	5,6	0,9	1,3	2,17	7,77	2,02	10,6	4,67	8,41	2,01	1,26
	Eu	ppm	0,81	0,16	0,23	0,3	1,21	0,39	1,52	0,59	1,07	0,37	0,18
	Gd	ppm	5,25	0,97	1,25	1,73	8,38	1,85	9,96	3,84	8,32	2,01	1,16
	Tb	ppm	0,73	0,15	0,17	0,23	1,18	0,3	1,34	0,63	1,13	0,29	0,18
	Dy	ppm	4,54	0,89	1,19	1,53	8,16	1,67	8,47	4,12	7,08	1,76	1,13
	Ho	ppm	1,02	0,18	0,27	0,34	1,99	0,38	1,78	0,91	1,6	0,39	0,23
	Er	ppm	2,89	0,55	0,83	0,96	6,19	1,06	5,64	2,7	4,83	1,17	0,72
	Tm	ppm	0,45	0,09	0,14	0,14	0,97	0,15	0,84	0,44	0,74	0,16	0,11
	Yb	ppm	2,92	0,59	0,88	0,97	6,55	1,09	6,09	3,09	4,86	1,23	0,75
	Lu	ppm	0,51	0,09	0,12	0,16	1,26	0,17	1,06	0,52	0,83	0,18	0,12
	Hf	ppm	1,46	0,54	0,68	0,62	3,12	3,87	2,17	1,92	2,83	1,2	1,46
	Ta	ppm	0,2	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	5,6	0,3	0,5	<0,1	0,1
	W	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Re	ppm	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	<0,001	<0,001
	Hg	ppm	0,006	0,007	0,005	0,005	<0,005	0,009	0,005	0,011	0,007	0,018	0,09
	Tl	ppm	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	0,02	0,04	0,1
	Pb	ppm	2	9	15	4	4	14	4	9	5	13	36
	Bi	ppm	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,2
	Th	ppm	3,56	1,16	1,76	1,39	5,17	2,51	3,94	11	4,99	1,83	1,98
	U	ppm	1,14	0,5	0,64	0,44	2,26	0,86	1,22	6,7	1,52	0,69	0,95

Tabell 7:1. 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, PI23345388.



Figur 7:1. Innehållet av järn (som Fe₂O₃) och kisel (som SiO₂) i slagger och malmer från de båda blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033. Slagger rika på wüstit (grön ellips) har högre järn- och lägre kiselhalter och slagger fattiga på wüstit (lila ellips) har lägre järn- och högre kiselhalter.



Figur 7:2. Slaggenas innehåll av järn (y-axeln) och kisel (x-axeln), som i föregående diagram. Här med tillägg av mangan där större storlek på symbolerna visar högre halt. Högre manganhalt förekommer i slagger från båda platserna i järnrika såväl som järnfattigare slagger. Etiketterna visar **provnummer_slaggtyp_kontext**, där slaggtyp 1 är wüstitrik, slaggtyp 2 är wüstitfattig, "ugn" är slagger från ugn, "sv" från slaggarvarp knutet till ugnen, och "fs" är slaggarvarp knutet till fällstensplatsen.

Mangan och barium, och fosfor

Mangan är ett ämne som är vanligt de i sjö- och myrmalmer som vanligen användes i järnframställning i blästugnar. Manganhalter på flera, eller till och med tiotals viktprocent kan förekomma (t.ex. Hjärthner-Holder m.fl. 2018 och referenser däri). Motsvarande stora spännvidd har också observerats i manganhalt bland slagger från järnframställning. Från de båda blästplatserna L1945:9225 och L2022:10033 ses också en variation i slaggerna.

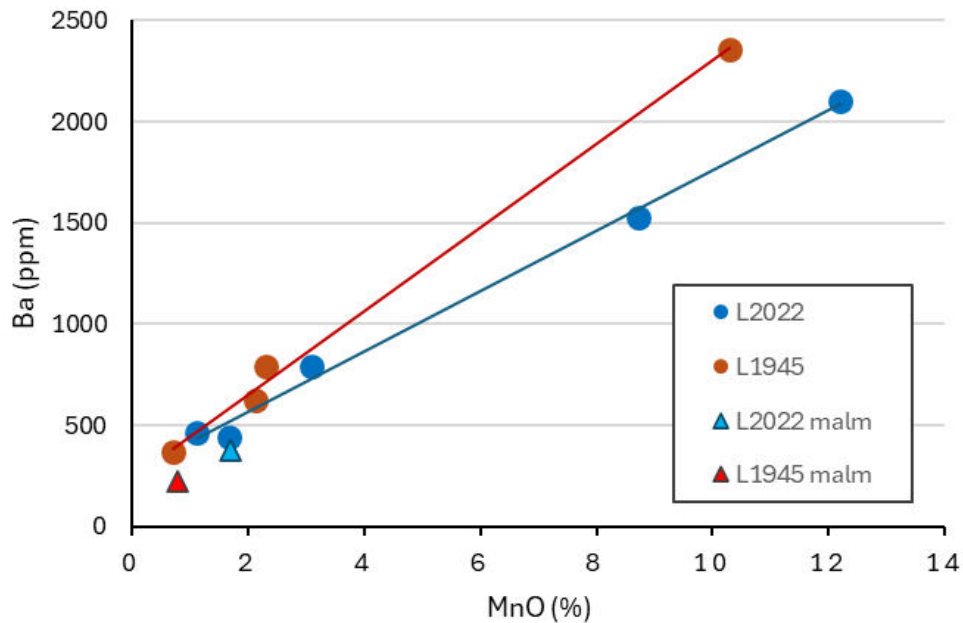
Variationerna i mangan skulle teoretiskt kunna finnas inom en och samma malmbildning. För att testa detta ytterligare jämförs också med bariuminnehållet. Barium är ett ämne som är korrelerat med mangan, och ju högre manganhalter desto högre barium ses också i allmänhet, främst i sjö- och myrmalmer och slagger från järnframställning med dessa råvaror. I överensstämmelse med det uppvisar de tre slagger som har de högsta MnO-halterna också de högsta Ba-halterna (Fig. 7:3). Alla slagger följer dock inte samma trend, dvs. de har olika proportioner mellan Ba och MnO. Bland annat har den manganrika slaggen (P45 från blästugnen) från L1945 högre bariumhalt än de båda manganrika slaggerna från L2022 (P20 och P21 från blästugnen) för "lika" MnO. Bland slagger med lägre manganhalt är den kopplingen dock mindre markant varför det, indirekt, inte är uppenbar skillnad mellan de malmer som har använts på de båda platserna utan samma malmvariaton skulle kunna finnas för båda lokalerna. De analyserade malmerna antyder dessutom ytterligare annat förhållande mellan mangan och barium vilket ytterligare stärker att flera malmtäkter har använts under platsernas brukningstid.

Tidigare analyser från Jämtlands län visar också varierande manganhalter i slagger både inom och mellan olika järnframställningspaltser, t.o.m. ännu större skillnader med MnO-halter över 20 % vid järnframställningsplatsen i Rätansböle (Grandin & Ogenhall 2017). Även ytterligare en medeltida järnframställningsplats Oviken (RAÄ 32) har stor variation i MnO från mycket låg till ca 20 %. För den senare lokalen ingår dock inte Ba i de genomförda analyserna (Magnusson 1986).

De högsta manganhalterna är noterade i slagger som är påträffade i ugnen på respektive plats. För L2022 rör det sig tydligt om slagger in situ, dvs. sannolikt den sista körningen i ugnen. För 1945 är fyndomständigheterna inte lika entydiga att det är sista körningen, men om å är fallet skulle det båda platserna ha använt manganrika malmer i den senare fasen. Detta leder till en fråga att belysa om det kan vara malm från samma malmfyndighet, även om Mn-Ba förhållandet skiljer sig något. Det visar sig dock att de tre manganrika slaggerna avviker vad gäller bl.a. fosforinnehållet.

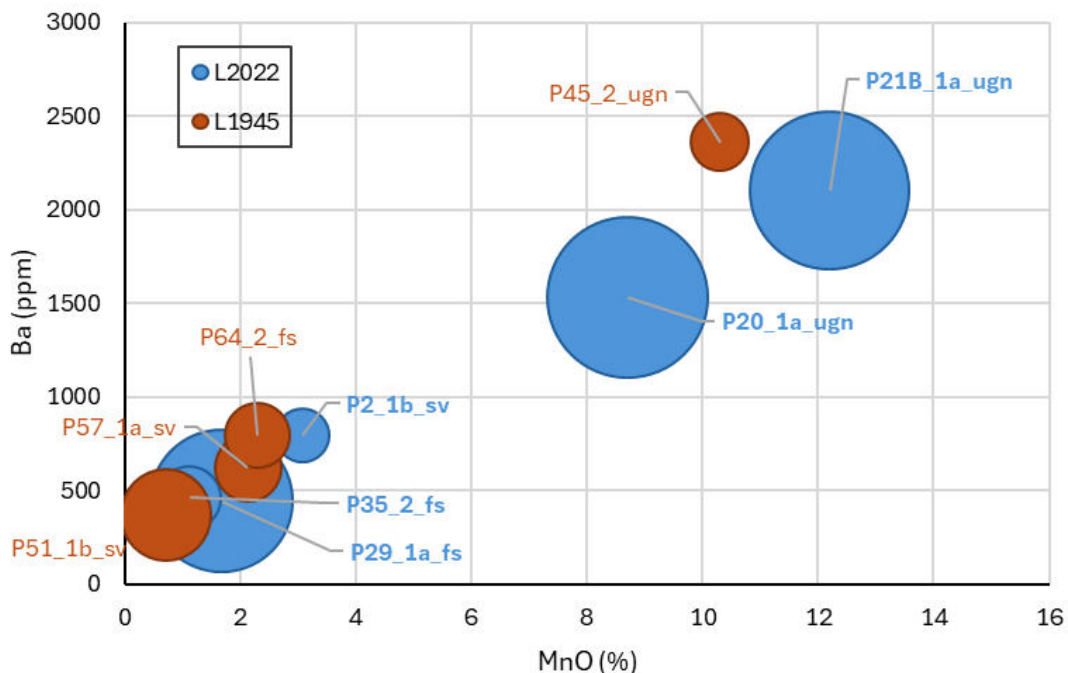
Från båda platserna finns slagger med fosforhalt (P_2O_5) på 0,5 % och därunder. Men det finns också en grupp smed slagger med fosforhalt på 2–3 % P_2O_5 : alla slagger med högre fosfor är från L2022:10033, bl.a. de båda slaggerna från ugnen som har hög manganhalt. Men, den manganrika slaggen från L1945 skiljer sig från de manganrika på L2022, med sina betydligt lägre fosforhalter (Fig. 7:4, Tabell 7:2).

Men, samtidigt finns det manganfattig slagg som är fosforrik (P29 från slaggvarpet vid fällstenen). Det innebär att det finns manganrika slagger som är rika på fosfor och fattiga på fosfor och att det finns manganfattiga slagger som är rika på fosfor respektive fattiga på fosfor. De analyserade malmerna tillhör prover med lågt fosforinnehåll, varför det återigen antyder att ytterligare malmer (malmtyper) än de som har analyserats har använts på platserna.



Figur 7:3. Innehållet av mangan (som MnO) och barium (Ba i ppm) som visar spridningen i de analyserade proverna från lägre till högre halter, men också att de båda ämnena samvarierar, med högre Ba för ökande MnO. De båda linjerna indikerar olika proportioner mellan slaggar från de båda platserna, men skillnaden är inte entydig.

MnO, Ba och P₂O₅



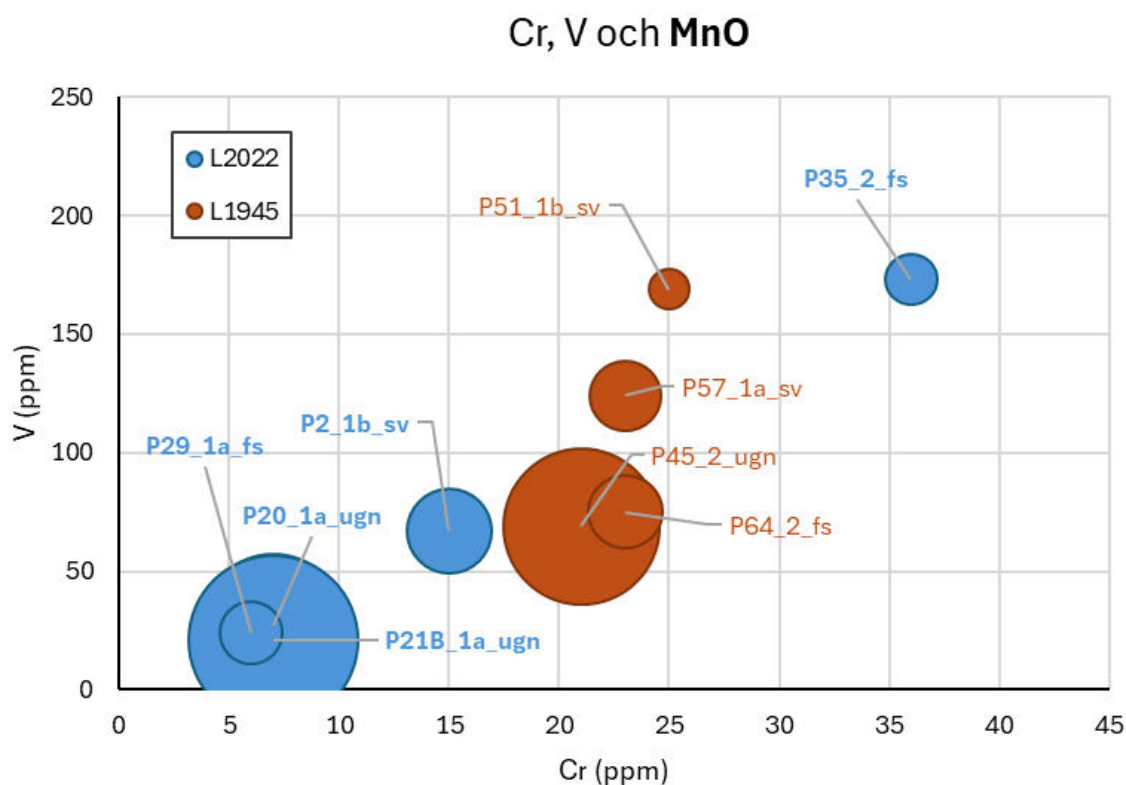
Figur 7:4. Innehållet av mangan (som MnO) och barium (Ba i ppm) som visar spridningen i de analyserade proverna från lägre till högre halter (se föregående figur). Här med tillägg av fosfor (som P₂O₅) där större storlek på symbolerna visar högre halt. Högre fosforhalt förekommer endast i slaggar från L2022:10033, i slaggar med såväl hög som låg manganhalt. Etiketerna visar **provnummer_slaggtyp_kontext**, där slaggtyp 1 är wüstitrik, slaggtyp 2 är wüstitfattig, "ugn" är slaggar från ugn, "sv" från slaggarvarp knutet till ugnen, och "fs" är slaggarvarp knutet till fällstensplatsen.

Tabell 7:2. Schematisk uppdelning av slagger (och malmer) med hög/låg mangan- och fosforhalt samt variationer i vanadin- och kromhalt. De båda kolumnerna till högre har likartad variation i Mn och P men är uppdelad ytterligare med hjälp av V och Cr.

Plats	Hög Mn Hög P Låg V, Cr	Hög Mn Låg P Medel V, Cr	Låg Mn Hög P Låg V, Cr	Låg Mn Låg P Hög V, Cr	Låg (-Medel) Mn Låg P (Låg-)Medel V, Cr
L1945		P45		P51, P57	P64; MP2
L2022	P20, P21		P29	P35	P2; MP3

De tidigare analyserade slaggerna från Rätans socken (Grandin och Ogenhall 2017), med ännu större variation i manganinnehåll, har mer begränsad fosforhalt, som mest ca 0,8 % och generellt < 0,6 %. Motsvarande analyser för de flesta andra järnframställningsplatser i Jämtlands län (Magnusson 1986) uppvisar också lägre fosforinnehåll, generellt < 0,6 %. Ett undantag är dock den medeltida järnframställningsplatsen i Oviken (RAÄ 32), där slagger med 10–15 % MnO har något högre fosforhalt på ca 1,2 % P₂O₅; men detta är ändå lägre än i slaggerna med P₂O₅-halter på nästan 3 % från ugnen på L2022. Också analyser av rensningslagger från vattendrivna hammare i flera socknar i Härjedalen, bl.a. Älvros daterade till 1700-talet (Buchwald 2008) har låg fosforhalt.

Som nämndes ovan i resultaten från de metallografiska analyserna har fosforjärn observerats i några av järnproverna från L2022, men inte i de från L1945. Såväl järnproverna som slaggerna, med sina förhöjda fosforhalter antyder att fosforjärn har varit en av produkterna på åtminstone L2022. Bland de slagger och järn som har analyserats i denna studie, finns inte tecken på fosforjärn från L1945.

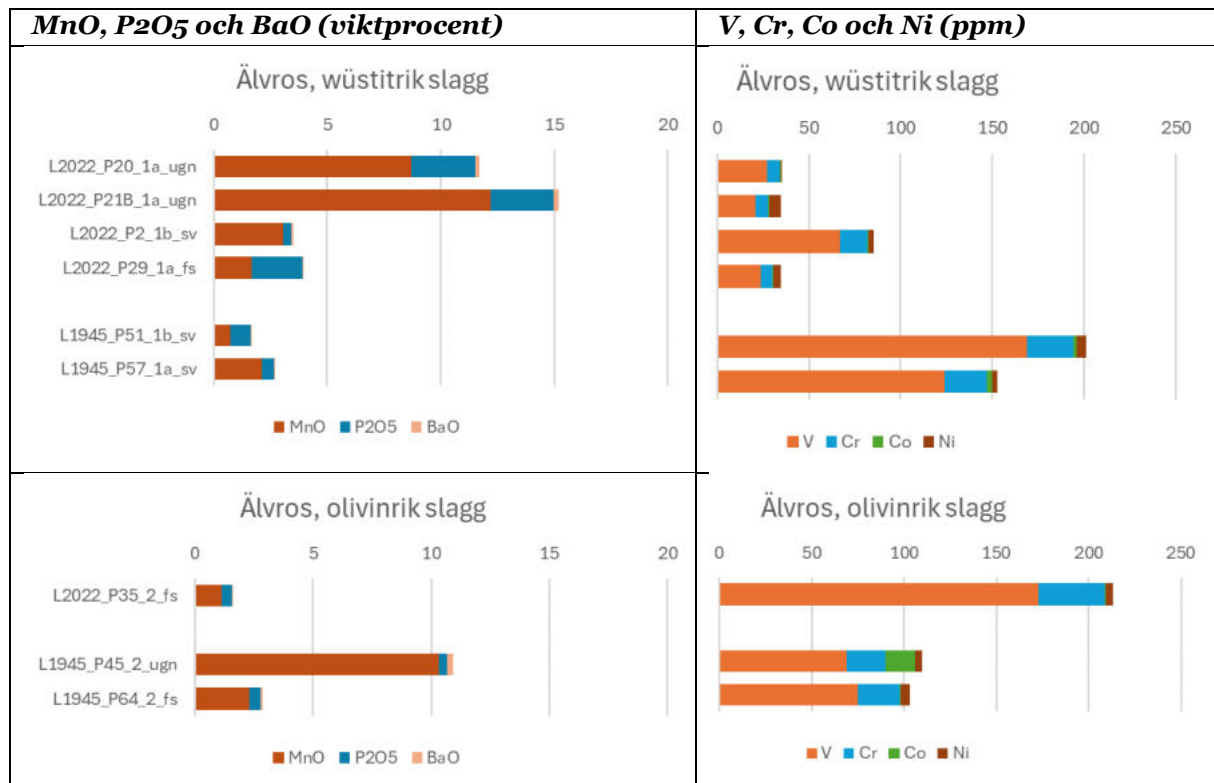


Figur 7:5. Slaggernas innehåll av vanadin (V) och krom (Cr) som samvarierar. Här med tillägg av mangan där större storlek på symbolerna visar högre halt. Slagger från L1945:9225 har högre halter av både V och Cr jämfört med i slagger från L2022:10033, förutom P35 från fällstensvarpet. Etiketterna visar **provnummer_slaggtyp_kontext**, där slaggtyp 1 är wüstitrik, slaggtyp 2 är wüstitfattig, "ugn" är slagger från ugn, "sv" från slaggarvarp knutet till ugnen, och "fs" är slaggarvarp knutet till fällstensplatsen.

Spårämnen

Med utgångspunkt i variationerna i bl.a mangan- och fosforinnehåll har flera olika malmrånvaror kunnat urskiljas. Även bland spårämnena finns några exempel som kan vara intressanta att lyfta fram och som också speglar variation i de malmer som har använts, snarare än funktionen på det tillverkade järnet. Exempel på dessa ämnen är vanadin (V), krom (Cr), kobolt (Co) och nickel (Ni). Dessa kan förekomma i olika nivåer (Alltifrån några enstaka eller tiotals ppm vardera) i olika malmer och kan spegla lokala variationer i malmer (geologiskt och geografiskt kopplade). Under järnframställningsprocessen fördelar dessa sig mellan metall och slagg. Som jämförelse kan noteras att bland annat har höga nickelhalter noterats i slaggar vid smedjor i Ångermanland (Hjärthner-Holder & Grandin 2014) och är typiskt, ofta tillsammans med kobolt, ibland upp till flera hundra ppm i flera av de karaktäristiska spadformiga ämnesjärnen, främst från fyndplatser i Gästrikland, Hälsingland och Medelpad (Thålin 1973 och referenser däri). Inventeringar och efterföljande analyser av möjliga malmområden kunde dock inte identifiera några presumtiva råvaror vid det tillfället. Dessa ämnesjärn har dock en betydligt tidigare datering än järnframställningen i Älvros och ska därför inte relateras, men och de generellt låga spårämneshalterna i Älvros dessutom att de också skiljer sig kemiskt, varför järnet som har tillverkats i Älvros förväntas vara rent i sammansättning.

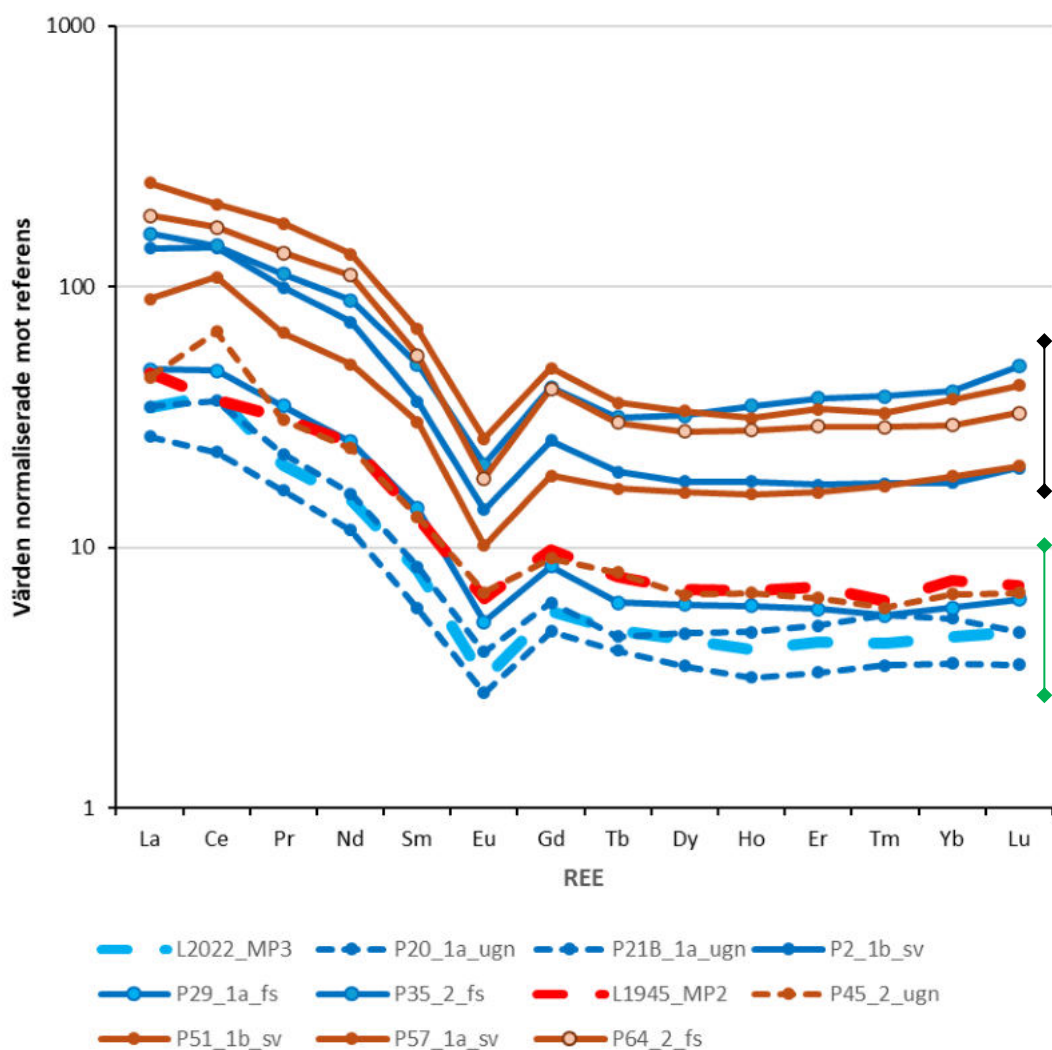
I de nu analyserade slaggerna är halterna av nickel låga, mestadels i nivå med vad som kan detekteras (några få ppm). Även kobolt är lågt i de flesta, men förekommer i de båda malmerna och i en slagg (P45 från L1945). Kromhalten är något högre i slaggerna från L1945 (21–25 ppm) än från L2022 (vanligen <15 ppm, men högre i P35 med 36 ppm). Vanadinhalterna uppvisar också en spridning från ca 20 ppm (de tre slaggar som har högst P_2O_5) till som mest ca 170 ppm (Tabell 7:1, Fig. 7:5).



Figur 7:6. Diagram som belyser den variation som finns i de analyserade slaggerna, såväl inom som mellan lokalerna. Kombination av stapeldiagram som visar variationen i innehållet av MnO, P₂O₅ och BaO (vänstra kolumnen) och spårämnena V, Cr, Co och Ni (högra kolumnen). Övre raden visar de wüstitrika slaggerna, nedre raden de olivinrika (wüstitfattiga), uppdelat på de båda platserna L1945:9225 och L2022:10033. Probenämning som figur 7:5.

Innehållet, och proportionerna mellan dessa spårämnen visar ytterligare skillnader mellan de slaggar som grupperar sig vad gäller mangan- och fosforinnehållet. Denna komplexa bild kan illustreras med hjälp av figur 7:6, och innebär att det finns ytterligare variation i de använda malmernas sammansättning. I den föreliggande studien har inga fältundersökningar eller provinsamlingar gjorts av tillgängliga malmer, men enligt litteraturen finns (eller fanns) sådana rikligt i närområdet, men det är inte klarlagt i vilken omfattning dessa varierar från täkt till täkt. Med utgångspunkt i resultaten från denna studie med den varierande sammansättningen är det dock mycket troligt att det är flera olika malmtäkter som har använts under den period som varje plats har varit i bruk. Möjligen skulle samma malmtäkt vid något tillfälle har utnyttjats för båda platserna.

En skillnad som är noterad de analyserade slaggen och malmerna är fosforinnehållet. Såväl flera slaggar som järnprover på L2022:10033 har ett fosforinnehåll som är tecken på tillverkning av fosforjärn. Från L1945 är detta inte belagt från urvalet av analyserade slaggen, men kan inte uteslutas. På L1945:9255 är det istället tillverkning av järn med hög kolhalt som är framträdande. Det senare överensstämmer också med de resultaten från jämförbara analyser av järn från Rätan (Grandin & Ogenhall 2017).



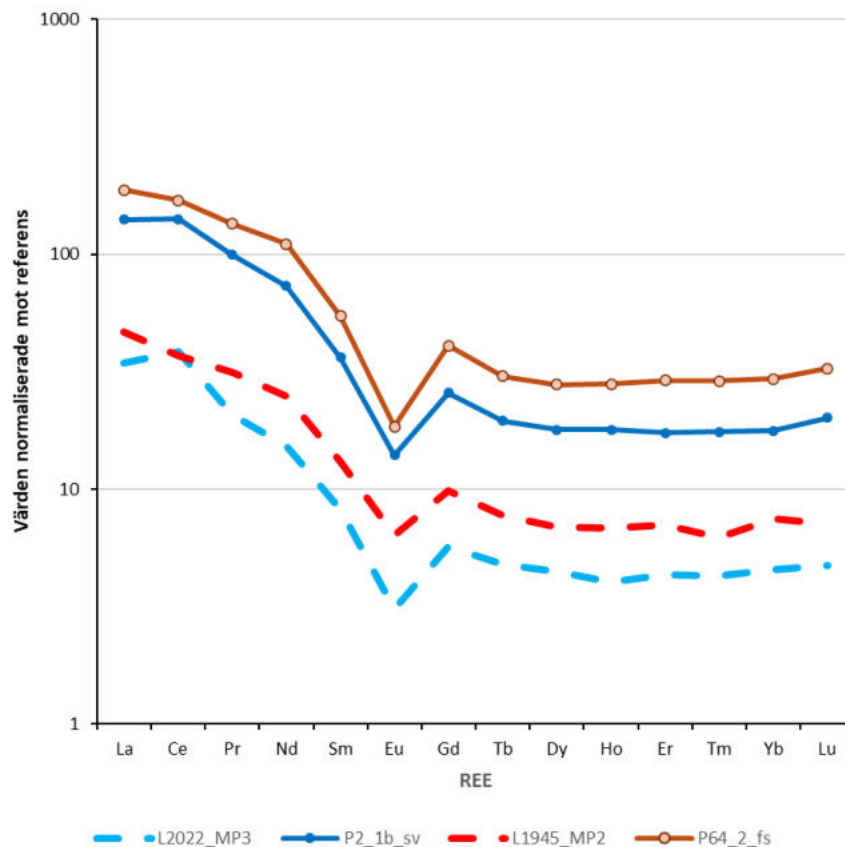
Figur 7:7. Innehållet av sällsynta jordartsmetaller (REE) (normaliserade mot standard) för samtliga slaggar och malmer (provbenämning som i figur 7:2). Slaggena med högre nivåer (svart markering) är de som har lägre mangan (och lägre fosfor). Slaggena med lägre nivåer (grön markering) är de som har högre manganhalt. Malmerna på samma låga REE-nivå har dock lägre mangan.

Sällsynta jordartsmetaller – Rare Earth Elements

Andra spårämnen som är betydelsefulla för att särskilja slagger, och som dessutom speglar den använda malmen 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. Slaggen med hög manganhalt har REE-halter på samma nivå som i malmerna vilket innebär att inte visar förväntad anrikning av REE som om de varit relaterade, dvs. malmer som använts för de malmuppsättningar där de manganrika slaggen har bildats, kan förväntas ha ännu lägre REE-nivåer (Fig 7:7).

Slaggen som har lägre manganhalter, har dock högre nivåer av REE, dvs. en förväntad anrikning jämfört med i använd malm. Om vi också tar hänsyn till innehållet av fosfor (lågt i malmer och i flera slagger) samt förekomst av spårämnen som vanadin och krom (Tabell 7:1 och 7:2) är det rimligt att anta att slaggen P51, P57 och P35 har alltför höga halter av krom och nickel för att knytas till malmproverna MP2 och MP3. Men det finns två slagger med rimligt likartade halter av andra ämnen som är mer kemiskt besläktade med de båda malmerna. Det är bottenslaggen (typ 1) P2 från övre delen av slagghvarp A564 knutet tillugnen på L2022 och den mer flutna slaggen (typ 2) P64 från slagghvarpet A 405 vid fällstenen på L1945.

För dessa ser man en anrikning av REE från malmen MP2 på L1945 till slagg P64 med parallella linjer på REE-kurvan (Fig. 7:8). Motsvarande skifte från den lägre nivån på REE från malm MP3 på L2022 ses mot slagg P2. För det senare paret av malm-slagg ses dessutom en topp i kurvan för ämnet cerium (Ce); en positiv anomali på kurvan, något som också talar för ett släktskap mellan dessa båda.



Figur 7:8. Innehållet av sällsynta jordartsmetaller (REE) (normaliserade mot standard) för urval av slagger med innehåll av några spårämnen (vanadin och krom) samt mangan och fosfor i samma storleksordning som i de båda malmerna (Se tabell 7:2 för urval).

RAPPORTSERIE – JAMTLI, 2024

ISSN 1654-2045

- 2024:1 Häggenås kyrka. Restaurering av torn, 2023
Henrik Ylikoski
- 2024:2 Gravvårdar i trä – Förvaltning av ett förgängligt kulturarv
Victoria Bly
- 2024:3 Arkeologisk utredning på fastighet Runsvik 4:18
Anna Engman
- 2024:4 Linsells kyrka. Målning av entréparti, 2023
Henrik Ylikoski
- 2024:5 Storumans stationshus. Restaureringsåtgärder 2020–2023
Victoria Bly och Björn Olofsson
- 2024:6 Fjällgraven vid Pravka. Arkeologisk undersökning av vikingatida gravgömma, teknisk rapport
Kristina Jonsson
- 2024:7 Bergs kyrka. Utvändig restaurering, 2023
Henrik Ylikoski
- 2024:8 Datering av tjärdalar i Överkalix socken
Anna Engman
- 2024:9 Kolåsens kapell. Kulturhistorisk utredning av begravningsplats
Victoria Bly
- 2024:10 Jämtlandska stav- och stenkyrkor. Dendrokronologiska och byggnadshistoriska undersökningar 2014–2023
Olof Holm och Björn Olofsson
- 2024:11 Alkemisterna på Galhammaren. Arkeologisk forskningsundersökning
Kristina Jonsson
- 2024:12 Två medeltida blästplatser och en liggmila från 1500-talet. Arkeologiska undersökningar
Kristina Jonsson