



Malm, slagg eller noe midt i mellom? *Mot en oppklaring av jernvinnas mysterier*

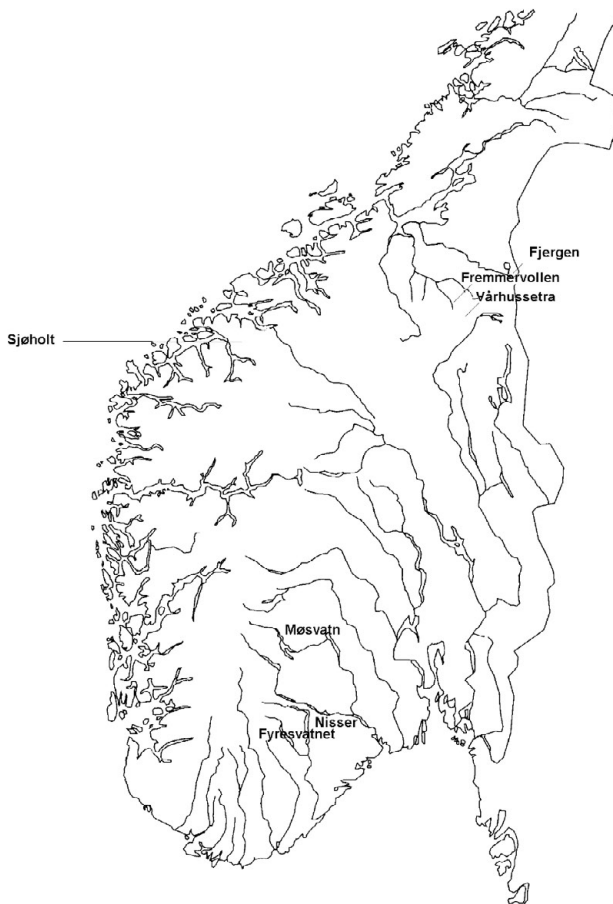
Arkeologen og metallurgen har hvert sitt revir: *utgravingsområdet* og *laboratoriet*. Ikke bare er helheten delt mellom to personer, men de har ulik utdanning, ulik faglig tilknytning og forskjellig arbeidssted. Vi vil i denne artikkelen vise at en kombinasjon av profesjonell arkeologisk utgraving og metallurgiske analyser av jernholdig funnmateriale har gitt resultater som kan vise seg å få stor betydning for jervinneforskningen. Vi mener nå å ha belegg for en driftsmåte som fullt ut tar hensyn til det kritiske elementet ved vellykket jernproduksjon, nemlig *slaggdanning*. «Slagg» funnet ved hellegrytene kan ha vært et halvfabrikat, beregnet på smelting i en annen ovnstype. Resultatene vi er kommet frem til ser også ut til å være overførbare til andre steder, slik som for eksempel Møsstrond. Grunnlaget for tolkningene som blir presentert baserer seg på arkeologiske undersøkelser gjort på Lånesmarka på gården Sjøholt i Ørskog kommune på Sunnmøre høsten 2000 og sommeren 2001.

Jernvinna står for direkte framstilling i liten skala av smibart jern og stål i utmark. Den er viktig som kilde for studier omkring bosetting, arbeidsliv og samfunnsorganisering, samt produksjon og utvikling av redskap. Etter at ¹⁴C-analyse er tatt i bruk for datering vet vi at jernvinna og de ulike fremstillingsteknikkene som er knyttet til den, representerer om lag 2000 år av norsk historie - fra førromersk jernalder og frem til 1800-tallet. Den regionale fordelingen er også svært spennende med et nesten funntomt Nord-Norge, en sterk middelaldertradisjon i det høyereliggende Østlandsområdet, mange anlegg fra eldre jernalder i Trøndelag, samt en del anlegg fra samme periode også på Vestlandet. Nye funn fører stadig til at våre oppfatninger omkring jernutvinning og jernproduksjon må endres.

Siden 1930-tallet har mange ulike forskere studert disse jernvinneanleggene. Arkeologer har foretatt utgravinger – de fleste som ledd i vassdragsregulering (Møsstrond, Dokkfløy, Fjergen), planer om turisme (Hovden), militære anlegg (Rødsmoen, Gråfjellet), mens noen mindre forskningsgravinger har vært utført, spesielt i Trøndelag. Navn som bør nevnes er T. Dannevig Hauge (1946), Arne B. Johansen (1973), Irmelin Martens (1988), Jan Henning Larsen (1991), Lars F. Stenvik (1996), Lars Erik Narmo (1997),

Bernt Rundberget (2002) og Ragnar Bjørnstad (2003). Andre som har vist stor interesse of foretatt registreringer er geologene Rolf Falk-Muus og Isak Undås. Av lokalhistorikere som har engasjert seg bør nevnes forstmennene Einar Stoltenberg i Fyresdal, Karl Mørkved i Nord-Trøndelag og jernbanemannen Christian Lodgaard i Singsås. Lærer Ivar Berre i Skogn har foretatt mange registreringer og arbeidet med eksperimenter. Enkelte egne arbeider i tida ca. 1989-2005 som også tar med et arbeid om jern på Island (Espelund 2004b) er ført opp blant referansene (Espelund 1989-2004)

Arkeologer har naturlig nok vært opptatt av den sosiale kontekst og av strukturer ved selve anlegget. Noen av disse har derfor foreslått driftsmåte for anleggene, selv om at disse tolkningene ikke alltid kan sies å være overbevisende. Det er karakteristisk at *ingen* har klart å gjenskape de vellykte produksjonsteknikkene vi kjenner gjennom arkeologiske funn, verken hos oss eller i andre land. Når småbiter av jern ved forsøk ved Dokkfløy blir vist i mikroskop, er det langt fra middelalderens kompakte *blåster- og fellujern*, av vekt 6-10 kg (Jakobsen et al. 1988; Espelund 2004a).



Den ene av oss Arne Espelund er den eneste fagutdannede metallurgen som både har deltatt i utgravinger, og foretatt kjemiske og metallografiske analyser av funnmateriale. I en viss utstrekning har Espelund med tillatelse fra ansvarlig myndighet foretatt prøvestikk i slagghauger og tatt ut prøver, deriblant trekull for ^{14}C -dateringer. For resultatene vises særlig til en ny bok (Espelund 2004a), dessuten til en ny utgave av boka fra 1999 (Espelund 1999 [2005]).

Figur 1.
Oversiktskart over Sør-Norge.
Steder av betydning for analysene er merket av på kartet.

Undersøkelsene

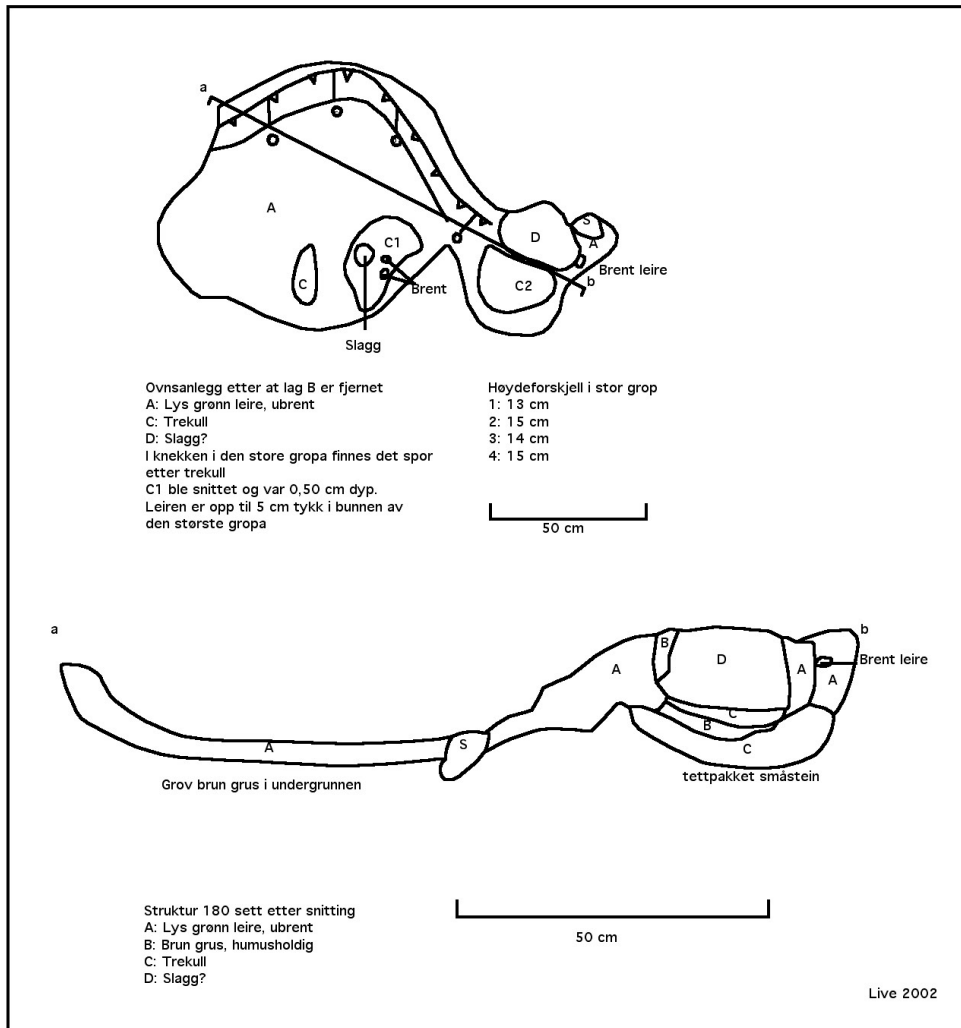
Gården Sjøholt har opp gjennom tidene vært et knutepunkt for ferdsel over Ørskogfjellet mot Romsdal og ved ferdsel langs den fiskerike Storfjorden ut til det ytre Sunnmøre. På gården er det registrert få faste kulturminner. I Fetts Førhistoriske minne på Vestlandet (Fett 1950) er det nevnt en grav under flatmark i Årøybakken 100 meter fra elva. Denne graven inneholdt en merovingertids mannsgrav med blant annet enegget sverd, to spyd, øks, skjold, hakke, hammer og ljà (B 7219 og B 7436). Det er verdt å merke seg denne graven som har ligget rett øst for utgravningsfeltet.



Figur 2.
Utgravningsfeltene
i Sjøholt sentrum i
Ørskog kommune.

På et over fem mål stort felt ble bosetningsspor fra eldre og yngre bronsealder, samt eldre jernalder avdekket. Det ble funnet rester av til sammen seks hus, mange kokegroper, to ovnsanlegg, samt en rekke andre groper (Johannessen 2002). Det er de to ovnsanleggene som i denne sammenhengen er interessante.

Anlegg 180 (Fig. 3) tegnet seg som et tilnærmet åttetall i flaten. Vestre del besto av en leirforet grop på 85 x 96 cm i diameter, med en dybde på opp til 15 cm. Den østre delen besto av selve ovnen. Denne hadde en diameter på 38 x 48 cm og var 26 cm dyp. Foringen besto av lite varmpåvirket leire. Selve ovnen var fylt med det vi trodde var slagg. Under dette laget var det et sjikt med trekull, etterfulgt av brun grus og et nytt trekullag. Bunnen var pakket med små stein. Veggene i ovnen var svakt buet og ga et inntrykk av å danne en kuppelform. Hvorvidt det har vært en sjakt på toppen



Figur 3. Ovnsanlegg 180, i plan og profil.

av denne er ikke mulig å avgjøre. Bevaringstilstanden på anlegget var god, men en overbygning av en slik karakter vil ha vært ødelagt av pløying. Til sammen ble det samlet inn 2,3 kilo av det slagglignende materialet inne i ovnen. Dette må anses for å være små mengder, sammenlignet med hva man normalt finner på tradisjonelle jernvinneplasser.

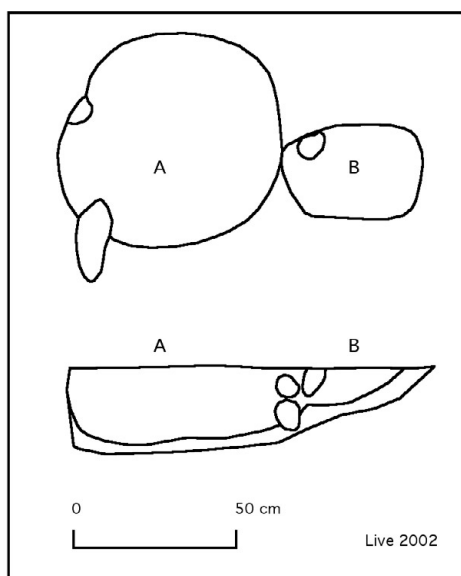
Det foreligger to ^{14}C dateringer fra anlegg 180. Disse prøvene ble tatt ut fra det nederste trekullaget og fra trekull i lag D (Fig. 3). Begge prøvene viser bruk i eldre jernalder. Ingen av de påviste husene er samtidige med dette anlegget, men det var spor etter stolper i området rundt. Noen av disse har blitt tolket å tilhøre en liten udatert driftsbygning. En alternativ tolkning kan være at noen av stolpene kan ha hatt en funksjon i forbindelse med driften av ovnen.

Tabell 1. ¹⁴C dateringer fra anlegg 180 og 423 på Sjøholt.

Lab.nr	Funnsted	Struktur	Materiale	¹⁴ C alder	Kalibrert alder (2 Sigma)
Beta-149153	180, lag C (VP07)	Ovn	Trekull	2520±70 BP	BC 820 til 410
Beta-149154	180, lag D (VP09)	Ovn	Trekull	2400±70 BP	BC 780 til 370
Beta-162393	423, grop A	Ovn	Trekull	1420±50 BP	AD 550 til 680

Anlegg 423 bestod av to deler. En stor rund grop (A) som målte om lag 76 x 77 cm i diameter og som var 24 cm dyp, og en liten oval grop (B) som målte 42 x 30 cm i diameter og som var 11 cm dyp. Grop A var tettpakket med et slagglignende materiale. Bunnen og sidene i gropa bestod av hardstampet gul/oransje grus. Veggene i gropa buet svakt innover. Grop B var også fylt med det samme slagglignende materialet, men i motsetning til A var fyllen løs og oppblandet med sand og jord. Bunnen og sidene i grop B var også annerledes. Disse bestod av løs undergrunnsmasse. Vesentlig for forståelsen av dette anlegget ligger nettopp i forskjellen mellom disse to gropene. Grop A har vært den primære del av anlegget. Det er her varmebehandlingen har foregått. Hvorvidt det har vært en overbygning på grop A er umulig å fastslå. Ingen spor under utgravningen tydet på det. Grop B har trolig oppstått da varmebehandlingen var ferdig og materialet skulle ut av grop A. En alternativ tolkning er at grop B representerer luftningang hvor en blåsebelg kan ha vært plassert. Det er verdt å legge merke til steinene som markerer overgangen mellom de to gropene. Disse kan trolig ha hatt en funksjonell betydning.

Til sammen ble det innsamlet 25 kilo slagglignende materiale fra de to gropene. En ¹⁴C datering foreligger fra anlegg 423, tatt ut i grop A. Den viser bruk i merovingertid.



Figur 4. Ovnsanlegg 423 i plan og profil.

De to ovnene er svært forskjellige i utforming og over 1000 år skiller dem. At de to ovnene representerte rester etter to smier var en nærliggende tolkning. Rent morfologisk ble materialet i begge anleggene tolket å være slag.

Metallurgiske undersøkelser

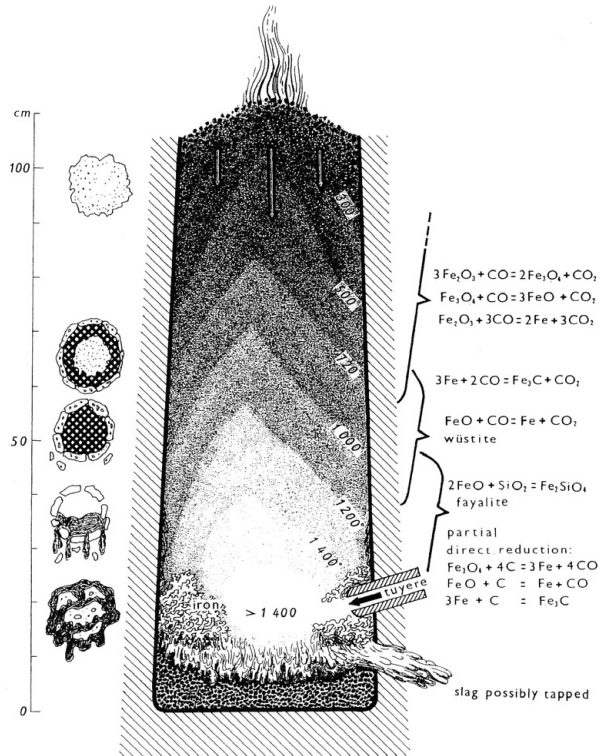
Smier er kjent fra flere utgravninger, men den dominerende funnkategorien når det gjelder jernproduksjon er de store jernvinneanleggene. Som vist i innledningen har jernvinneforskningen i Norge kommet langt, mens forskningen omkring produksjonsanlegg på boplassene er mindre kjent. Anlegg det er naturlig å sammenligne med er eksempelvis en eldre jernalders smie fra

Årdalsfjellene (Kristoffersen 1988:79ff). Denne smia bestod av fire groper, et ildsted og flere områder med ubrent leire. Det er særlig oppbygningen av essen (grop 2) som har store likheter med anlegg 180 og den tilhørende grop 3. Det forelå fire dateringer fra denne fasen, og Kristoffersen tolker disse å falle inn i romertidens senere del og folkevandringens første tiår (Kristoffersen 1988:80). Under en utgraving på Evebø i Gloppen kommune ble det også avdekket et ovnsanlegg som har likhetstrekk med anlegg 180. Resultatene fra utgravingen er ikke ferdig bearbeidet, men i følge Diinhoff kan trolig alle strukturene på feltet dateres til førromersk jernalder (Diinhoff in prep.). Det er også utgravd flere smier i forbindelse med de store jernvinneanleggene, som for eksempel på Rødsmoen (Narmo 1997).

For å få et bedre og mer utfyllende bilde av situasjonen ble slagget fra de to anleggene innsendt til Institutt for materialteknologi ved NTNU i Trondheim for metallurgiske undersøkelser. Og det var i dette krysningspunktet mellom arkeologi og metallurgi at spørsmål omkring tolkningen av materialet begynte å dukke opp. I likhet med andre fag er metallurgien tosidig, med en deduktiv og en induktiv del. Den deduktive tar utgangspunkt i kjente massebalanser og termokjemi, mens den induktive baserer seg på kjemiske og andre analyser av funnmateriale.

I figur 5 er det vist et snitt av en blesterovn som gjengir de sentrale trekk for produksjonsprosessen (Tholander 1987). Ovnene blir først fylt med røsta malm og trekull. Luft blir så blåst inn nederst gjennom en blestform («tuyere»), og trekullet brenner i denne sonen til nesten ren CO-gass (ikke vist på figuren).

Det er gassreduksjon med CO som preger reduksjonen i en slik ovn, og ikke reduksjon med fast karbon (C) («direct reduction»). Smeden vil for de fleste smiprodukter ha lavest mulig C-innhold i metallet. Kontroll av C-innholdet må



Figur 5.
Skjematisk bilde av blesterovn av middelaldertype (etter Tholander 1987).

foregå i blesterovnen gjennom reaksjonen: $C + FeO = Fe + CO$. (Her står C for karbon løst i metallet). Denne reaksjonen vil foregå ved ca. 1000 °C. I den kjemiske likevekten som likningen står for vil lavt karboninnhold svare til høyt FeO-innhold. FeO oppstår i sjakta underveis i prosessen. Men en risikerer å få en for vidtgående reduksjon av FeO til metall. FeO blir bare stabil dersom den blir assosiert med SiO_2 , som del av smeltet slagg. Det er den vi finner som avfall i slagghaugene, med ca. 60 % FeO og 25 % SiO_2 .

Tholander har på illustrasjonen inkludert reaksjonen $2 FeO + SiO_2 = Fe_2SiO_4$, et silikat kalt fayalitt som smelter ved vanlig ovnstemperatur. Ved denne reaksjonen skal SiO_2 reagere til silikat. I motsetning til alle andre oppgitte reaksjoner, som er av typen fast stoff + gass, er dette en reaksjon i fast fase som derfor må forventes å være treg. Det er ingen garanti for at denne reaksjonen blir fullført i et enkelt eksperiment hvor trekull og røsta malm blir satt til en blesterovn – og der prosessen blir drevet mer eller mindre konstant i den tro at det er viktig å oppnå høyest mulig temperatur. Ellers er det å si at oppgitt temperatur på 1400 °C er urealistisk, mens en temperatur på 1100-1200 °C er mer sannsynlig. Tegningen sier heller ikke noe om at CO_2 som oppstår på et lavere nivå følger med gassen oppover. Denne *støkiometriske* siden er tidligere diskutert av Espelund (Espelund 2004a:66).

Slaggmaterialet fra Sjøholt

For undersøkning forelå tre prøver, to fra struktur 180, merket 5 og 6, og en fra struktur 423, merket 7 (Espelund 2002b). Funnsituasjonen, inkludert dateringer er oppgitt i den arkeologiske delen. Prøvene ga umiddelbart inntrykk av slagg som hadde flytt. Men samtidig var mange små porer synlige i snittflaten på disse. Prøvene var derfor ikke jamførbare med verken middelalderens tappeslagg eller eldre jernalders slagg med vedavtrykk. Stykkene lot seg heller ikke bryte opp mellom fingrene, slik som klumpformet myrmalm. Det ble derfor bestemt at prøvene skulle analyseres kjemisk. For de viktigste stoffene ble resultatet i vekt % som følger:

Tabell 2. Kjemisk analyse av prøver fra Sjøholt, Ørskog kommune. Rapport (Espelund 2002b)

	FeO	Fe_2O_3	MnO	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5
Prøve 5	86.04	(95.6)	0.69	7.2	3.58	0.15
Prøve 6	84.5	(93.9)	0.64	7.55	4.0	0.17
Prøve 7	93.82	(104.2)	0.09	2.86	1.0	0.06

Påfallende ved resultatene er det lave innholdet av SiO_2 som lå på mellom tre til sju prosent, mot normalt ca. 25 prosent, som er det vanlige i slagg. Resultatene er typiske for meget godt råstoff.

Metoden (XRF) gir verdier for grunnstoffene, mens de i materialet opptrer som oksider. Tvetydig er det bare for jern, som har to valenstrinn og dermed tre aktuelle oksider: FeO, Fe_3O_4 og Fe_2O_3 . At FeO er sannsynlig, viser summene henholdsvis

99.5, 98.84 og 99.66 (når også små innhold av CaO, MgO, BaO, K₂O og TiO₂ blir regnet med). Espelund har tidligere foreslått å innføre begrepet $R = (\%FeO + \%MnO) / \%SiO_2$ (med molverdier) for å skape et bedre skille mellom analyser for malm og slagg (Espelund 1999). For prøvene fem til sju er verdiene henholdsvis 10.0, 9.4 og 27.3. I kjemisk sammenheng svarer disse resultatene til rik malm og ikke vanlig utvinningsslagg som har en verdi rundt to. Dermed tydet morfologien på slagg, mens kjemien tydet på malm.

Det ble derfor bestemt å utføre to andre former for analyser: røntgendiffraksjon XRD av finmalte prøver fra nr. 6 og 7, samt mikrosonde av planslip av alle tre prøver (nr. 5, 6, og 7).

For prøve nr. 6 viste XRD analysen stoffene wüstitt FeO, fayalitt Fe₂SiO₄ og gøthitt FeOOH. Prøve nr. 7 viste stoffene wüstitt FeO, maghemitt Fe₂O₃ og fayalitt Fe₂SiO₄. Gøthitt er stoffet som vanlig myrmalm består av og som ved vanlig røsting går over til maghemitt. Når stoffet opptrer i den ene «slaggen», vitner det om brenning bare ved lav temperatur. Dette svarer helt til en foring av lite varmpåvirket leire for anlegg 180, omtalt i den arkeologiske delen. Det er signifikant at prøvene *ikke inneholder fri SiO₂*, men derimot silikatet fayalitt, som knapt forekommer i naturen. En foreløpig konklusjon blir derfor at på Sjøholt har myrmalm blitt varmebehandlet, slik at fri silika er blitt omdannet til silikat ved reaksjon med FeO.

I samråd med Live Johannessen ble de tre prøvene også støpt inn i plast, porene fylt med herdeplast, deretter slipt og undersøkt i mikrosonde. For å ha et grunnlag for sammenlikning ble det også laget en prøve av typisk utvinningsslagg fra romersk jernalder (se Tab. 3).

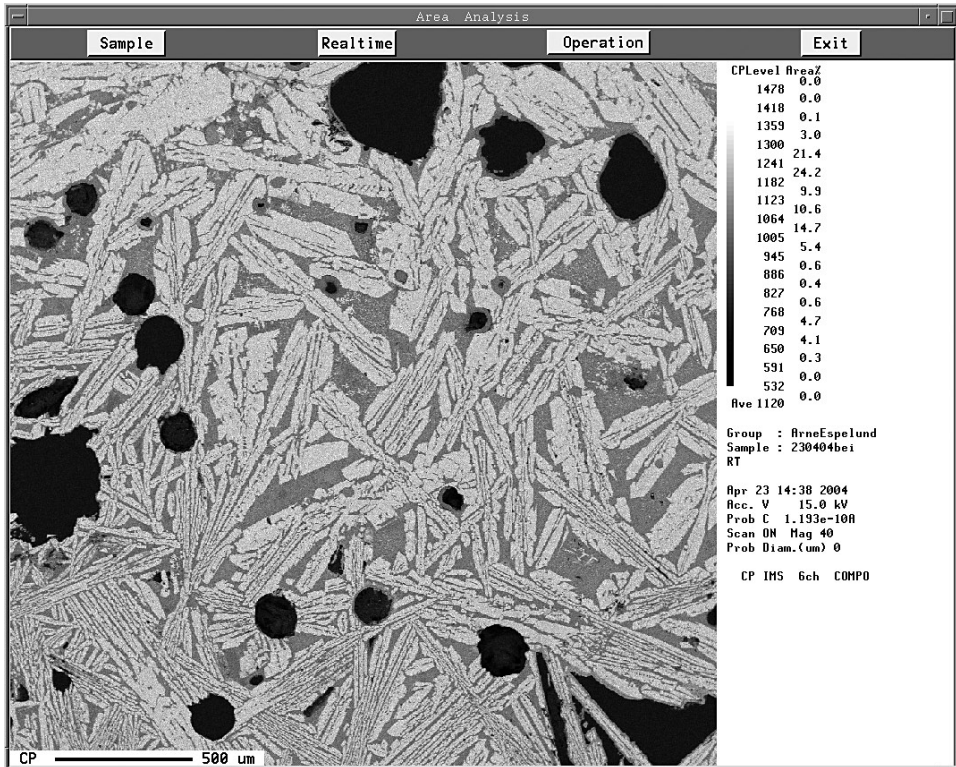
Tabell 3. Kjemisk analyse av slagg fra Vårhussetra i Trøndelag.

	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Vårhus v	57.0		3.45	28.0	5.5	0.15

Funnsted og kontekst for denne prøven fra Vårhussetra er oppgitt tidligere (Espelund 2002a). Summen, inkludert CaO utgjør 98.88 %, mens verdien for R er 2.28 – ganske normalt for et utvinningsslagg (se ovenfor).

I prøven fra Vårhus (Fig. 6) opptrer nåleformede krystaller (ca. 80 %), med sekundære utfellinger, mens en grå masse (trolig glass) fyller alle mellomrom. Ved krystalliseringen er først ren fayalitt skilt ut, mens en restsmelte har størknet ved lavere temperatur. Slaggen er *olivin-pyroksen-normativ*, for å bruke en term fra Kresten (1988). (Olivin er et samleord, som også omfatter fayalitt).

Prøvene 5, 6 og 7 fra Sjøholt er forholdsvis like. I figur 7 er prøve 6 vist. Alle svarte flekker er porer. Igjen er prøven sammensatt av to faser, denne gangen meget mer finkornet. Punktanalyse i de lyse, litt avlange korna ga ved eds-analyse (Energy Dispersive Scanning) 98.4 % FeO, mens mellomfasen inneholdt 72.4 % FeO, 21 %

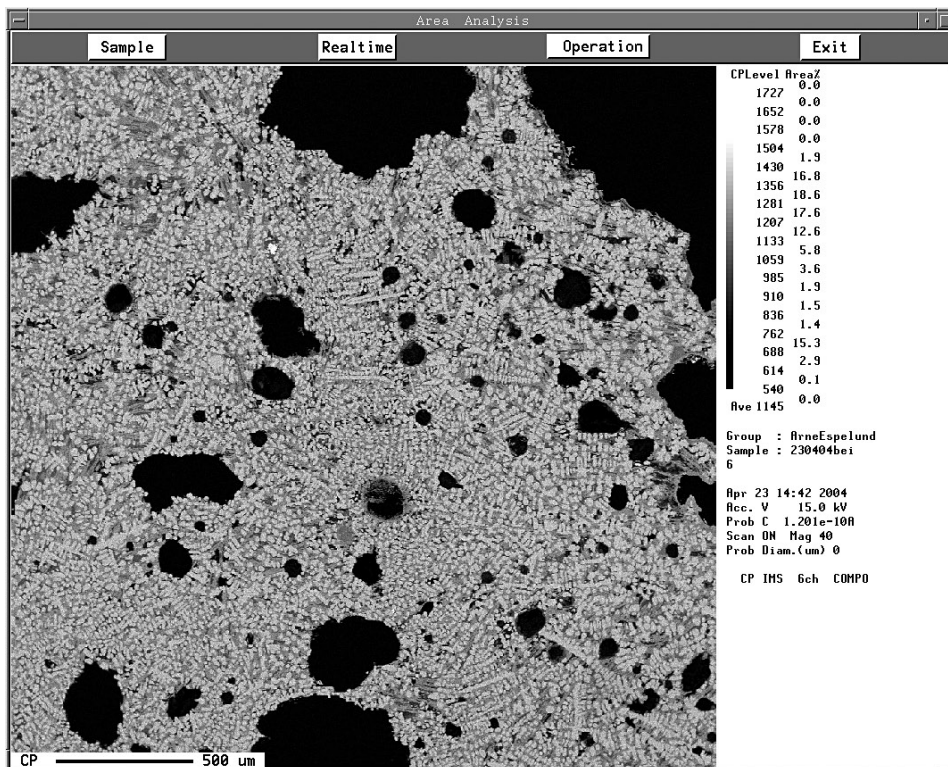


Figur 6. Planslip av slagprøve fra Vårhussetra. Reflekterte elektroner ved SEM-analyse.

SiO₂ (foruten de andre oksidene). Gjennomsnittet for en større flate var 82.4 % FeO og 10.6 % SiO₂, et resultat som står i rimelig samsvar med de første kjemiske analysene. Prøven er i motsetning til prøven fra Vårhus *wüstitt-normativ*.

Alle tre metoder peker i samme retning: «slaggen» fra Sjøholt er av myrsmalm, som har gått gjennom en prosess ved svakt reduserende forhold over en viss minimum temperatur. De er *ikke* et biprodukt ved framstilling av jern, slik som vanlig jernvinnslag. Strukturen kan vitne om sintring av jernoksid med meget finfordelt silika. To spørsmål melder seg da: *hva slags prosess har malmen gått gjennom, og hvorfor ble dette gjort?*

Malmen må ha blitt satt til en ovn (kanskje etter tørking) ved svakt reduserende forhold. Uomdannet gøthitt FeOOH tyder på at temperaturen neppe har vært mye høyere enn ca. 700 °C. Kanskje strukturen i «slaggen» ble bestemt av meget finfordelt SiO₂ i malmen? Espelund har tidligere erfart at SiO₂ i myrsmalm ofte er amorf og kan stamme fra døde kiselalger. Prosessen bør derfor kalles sintring og ikke smelting eller røsting. Hensikten må ha vært å gjøre reduksjonsprosessen enklere ved å danne fayalitt på forhånd. Jernvinneovner i den aktuelle perioden var av typen sjaktovn med slagprop, som på Sunnmøre er best kjent fra et anlegg på Ørskogsfjellet.



Figur 7. Planslip av prøve fra Sjøholt. Reflekterte elektroner ved SEM-analyse.

Funnet fra Sjøholt fyller derfor på mange måter et hull i jernvinneforskningen. Den vellykte framstilling av smibart jern i eldre jernalder (som utgravinger vitner om) var kanskje ikke basert på direkte smelting av myrmalm, eller etter vanlig røsting til rødt pulver. I stedet kan forklaringen ligge i fremstilling av et halvfabrikat, dannet i en separat ovn og kanskje til og med på et helt annet sted enn der de store slagghaugene ligger i dag. En slik modell forklarer også hvorfor det er lite slagge der malmen ble sintret, og mye der den ble smeltet til metall. Dette var to prosesser som fulgte hverandre tett, nesten som ved brødbaking der brøddeigen først må gjæres og deretter steikes for det endelige produktet er ferdig.

Vi er fra norsk jernvinneforskning vant med at det er et begrenset antall ovnstyper. Disse ovnstypene er fordelt over hele Sør-Norge både i tid og rom, men likevel med klare mønstre (Espelund 2004a:63) Det er derfor naturlig å spørre om andre funn støtter denne tolkningen. Espelund har under leiing av arkeolog Lars F. Stenvik vært med på flere utgravinger av anlegg fra eldre jernalder i Trøndelag. Det er karakteristisk at det sterile området rundt slaggrøpene *ikke* er preget av de to stoffene som etter vanlig oppfatning kan ha blitt tilsatt: trekol og rød, røsta malm. At ved ble tilsatt direkte under fremstillingsprosessen har lenge vært en del av tolkinga. Men i stedet

for at malmen har blitt tilsatt som et rødt, fint pulver kan dette ha skjedd i form av disse grove, brunfargede stykkene, som vi ved utgravinger i perioden 1982 til 1995 ikke hadde noen muligheter for å oppdage. Ved den store utgravingen ved Fjergen fant vi ingen fersk malm, bare et lager av rød, røsta malm. Men det lå på granbar, og ved ¹⁴C- datering av trekullbiter viste det seg å være fra 1400-1700-tallet (T-10875). Det uttrykker derfor et forsøk på å ta opp igjen en gammel prosess, lenge etter at den var avglemt (Stenvik 1996:31).

Enda mer oppsiktsvekkende er et funn av ca. 50 m³ rød røsta malm som er lokalisert under 50 meter fra et normalt romertidsanlegg på Fremmervollen i Ledalen, Holtålen kommune i Sør-Trøndelag (Espelund 2001). Mens trekullbiter fra slagghaugen gav en datering kalibrert til 350-35 f.Kr., gav den røsta malmen en datering kalibrert til 240-410 e.Kr. (treslag ikke bestemt). Malmen viste seg å være nokså silikarisk, men den inneholdt korn av meget godt egnet malm. Trass i at dateringen av malmen er så gammel som yngre romertid/folkevandringstid, tolkes dette som et mislykket forsøk på storstilt smelting etter at tradisjonen med forbehandling ved sintring hadde dødd ut.

Enda mer betydning kan denne teorien ha for tolking av hellegrytene på Møsstrand, en viktig del av Irmelin Martens utgravinger, med materiale som ble bearbeidet av A.M. Rosenqvist (Martens & Rosenqvist 1988). I en bokmelding uttrykte Espelund skepsis til hellegrytene som ovner for jernproduksjon (Espelund 1989), uten å kunne fremme en alternativ tolkning. På bakgrunn av resultatene for materialet fra Sjøholt er det nå grunn til å hevde at «størkneslaggen» fra hellegrytene svarer til den sinteren som ble funnet ved Sjøholt, altså et halvfabrikat. Praktisk talt alle analyser minner om brukbar malm og er ifølge P. Kresten «wüstitt-normative», slik som sinteren fra Sjøholt. Slagg fra leirovnene i likhet med ovnen ved Vårhussetra er derimot «olivinpyroksen-normative» (Kresten i Martens & Rosenqvist 1988).

Mens funnmaterialet fra Sjøholt ennå er litt fragmentarisk, er det i Telemark kanskje grunnlag for å trekke videre konklusjoner av stor betydning for samfunnsmessige sider ved norsk jernvinneforskning. I hellegrytene ble det i perioden ca. 550-700 e.Kr. produsert et halvfabrikat, beregnet på smelting i sjaktovner med slaggrøp. Slike ovner er påvist i lavere lende, både i Tokke, Nissedal og Fyresdal (Espelund 2004a). Ut ifra erfaringer fra arbeid i Trøndelag hevdes det at de ble drevet ved direkte tilsatt av furuved, et treslag som ikke fantes på Møsstrand. Bruk av furu skapte den nødvendige trekken i ovnene, uten bruk av blåsebelger.

På 800-tallet var det en drastisk endring av teknologien. Fra dette tidspunktet ble ovnene fyrt med trekull, framstilt i separate kullmilegrøper. Som treslag ser det ut til at furu, bjørk og gran var likeverdige. Nå kom bjørka på Møsstrand til sin rett. I denne perioden formelig eksploderte jernutvinninga på Møsstrand. Nyere beregninger kan tyde på en årsproduksjon på 20 tonn på 1100-tallet (Espelund 2004a). Fortsatt er det mye myrmalm å finne langs stranda av Møsvatn, takket være utvasking av

et tykt torvlag i nyere tid. Noen enkle forsøk er nødvendige for å kontrollere disse påstandene. For det første bør hellegryteslagg fra Møsstrand undersøkes med de samme teknikkene som har vært brukt for sinteren fra Sjøholt. Dette bør gjøres i samarbeid med NIKU, som har utført nye registreringer i strandsonen ved Møsvatn (Risbøl 2004). Dernest bør en foreta et enkelt forsøk i en ovnstype som svarer til de utgravde hellegrytene, kanskje helst i ovner uten luftinntak i bunnen. Etter oppfyring med ved kan en legge inn mer kløvd tørr og så tilsette myrsmalm. Kanskje prosessen kan overlates til seg sjøl. I beste fall kan en ta ut sinte etter at alt har brent ned.

Avslutning

Ved anleggene på Sjøholt kunne tradisjonell arkeologi ha konkludert med at det var rester av to smier fra jernalderen. Det store spriket i dateringene og utformingen av de to anleggene førte imidlertid til at det ble stilt spørsmål om en slik tolkning kunne være riktig. Prøver av materialet ble derfor innsendt til Institutt for materialteknologi, NTNU i Trondheim for videre analyse. Resultatene herfra viste en sammensetning av oksider, som minnet mer om malm enn slagg etter utreduksjon av jern. Analyse ved røntgendiffraksjon, som avdekker hvilke forbindelser som forelå, viste at disse prøvene hadde gått gjennom en prosess ved moderat temperatur og svakt reduserende forhold. Også planslip og analyser ved bruk av elektronoptisk teknikk bekreftet dette. Dermed kom tanken om at det på dette stedet hadde blitt laget et halvfabrikat, beregnet på smelting til jern og slagg på et annet sted. Analogien til «slag» funnet ved hellegrytene på Møsstrand, som heller ikke har fått noen rimelig forklaring, er i denne sammenheng slående. Resultatet kommer metallurgiske krav til vellykket smelting i møte. Det er *slaggdanning* som er flaskehalsen ved smelting. En ikke gjennomført slaggdanning kan forklare hvorfor tallrike forsøk på å gjenskape eldre teknikk har vært mislykte. Når slik sintring ikke ser ut til å være en del av praksis i yngre jernalder, kan det henge sammen med at smelterne lot malmen få lang oppholdstid i ovnen: Etter en viss reduksjon og aktiv bruk av blåsebelgene ble kanskje ovnen stående en stund med lukkede bleståpninger, slik at en fullstendig slaggdanning kunne gjennomføres før reduksjonen ble igangsatt for alvor.

Vi mener at en slik totrinns behandling, dokumentert i eldre jernalder, eller lang oppholdstid for malmen inne i ovnen i yngre jernalder kan avklare hvordan arbeidet foregikk (med oppholdstid menes tida massen er inne i ovnen). De små funnene på Sjøholt kan dermed få stor betydning. Resultatene vi er kommet frem til bør utfylles med noen flere prøver, kanskje også noen enkle eksperimenter i ovner av hellegryte-type. Funnene fra Sjøholt vitner om en utrolig erfaringskunnskap i eldre jernalder, med prinsipper som siden er videreført inn i yngre jernalder. Funnene vitner også om et velorganisert samfunn, med produksjon av et halvfabrikat som trolig var beregnet på smelting et annet sted. Vi håper at resultatene våre kan føre til endret perspektiv og oppfatning av groper og løsfunn av slagg som så ofte dukker opp på våre flateavdekkinger.

Summary

Excavations at Sjøholt, Sunnmøre, which were led by Live Johannessen from Bergen Museum at the University of Bergen, uncovered small amounts of slag. The slag was found, were at first thought to represent smithing. However, the ^{14}C datings (Early Iron Age), the small amounts as well as the context did not fit well into a conventional pattern. Samples of slag were sent to The Department of Materials Technology at the Norwegian University of Technology in Trondheim. Chemical analyses with some 3 – 7% SiO_2 reminded more of bog iron ore than slag resulting from reduction. X-ray diffraction showed no free silica SiO_2 , on the other hand; free iron oxide, unreacted goethite FeOOH and fayalite Fe_2SiO_4 . It is suggested that these samples represent a low-temperature treatment at moderately reducing conditions, aiming at incipient formation of a fayalite type of slag.

Reported analyses of slag from the flag lined bowl furnaces found at Møsstrand in Telemark and ^{14}C -dated to 550-700 AD seem to be comparable (Martens & Rosenqvist 1988).

It is therefore claimed that successful iron making during this period was a two-step process, with a simple low-temperature pre-treatment of the ore by sintering instead of roasting at oxidizing conditions. In this way slag formation, which is a critical step in successful bloomery iron making, was enhanced. This semi-product was brought to reduction furnaces, which during this period were shaft furnaces with slag pits, fired with pine wood.

During the next period conventional roasting became a normal practice. Slag formation was enhanced by a prolonged retention time of the charge in the furnace. This practice is not revealed by excavations.

This theory may explain why experimental smelting nowhere has resulted in high-quality blooms, such as numerous museum pieces. This idea ought to have an influence on excavations, with more emphasis on stray finds of slag, «cooking pits» etc, and also lead to a new approach to experimental work.

Litteratur

- Bjørnstad, R. 2003. Teknologi og samfunn. Jernvinna på Vestlandet i jernalder. Upublisert hovedfagsoppgave i arkeologi, Universitetet i Bergen.
- Diinhoff, S. in prep. Arkeologiske friggivningsundersøgelser ved Ebebø gnr. 77, Gloppen kommune, Sogn og Fjordane 2000. Utgravningsrapport. Bergen Museum.
- Espelund, A. 1989. Review. (Jernvinna på Møsstrand i Telemark). *Norwegian Archeological Review* 22(2):131-33.
- Espelund, A. 1996. Metallurgisk del. I: Stenvik, L. (red.) *Undersøkelser i forbindelse med kraftutbygging I Meråker, Nord-Trøndelag*. Rapport Arkeologisk serie 1996-1, s. 39-73. Trondheim.
- Espelund, A. 1999. *Bondejern i Norge*. [Ny utgave med tillegg 2005] Trondheim.
- Espelund, A. 2001. Mysteriet på Fremmervollen. *Oppunder fjellbandet* 2001:16-17.
- Espelund, A. 2002a. Jernvinna som del av kulturhistorien i Finnsådal. *Gauldalsminne* 2001-2002:141-161.

- Espelund, A. 2002b. Prøver fra Sjøholt, innsendt av Live Johannesen. Upublisert rapport. NTNU Trondheim.
- Espelund, A. 2004a. *Jernet i Vest-Telemark – der tussane rådde grunnen*. Trondheim.
- Espelund, A. 2004b. Jernframstilling i Fnjóskadalur på Island. *Current issues in Nordic Archaeology*. Reykjavik.
- Fett, P. 1950. *Ørskog kommune*. Førhistorisk minne på Sunnmøre. Bergen.
- Hauge, T.D. 1946. *Blesterbruk og myrjern*. Universitetets oldsaksamling. Oslo
- Jakobsen, S., Larsen, J.H. & Narmo, L.E. 1988. Nå blestres det igjen jern ved Dokkfløy. *Viking* LI:87-108.
- Johannessen, L. 2002. Arkeologiske undersøkelser, Sjøholt gnr. 97, bnr. 6, Ørskog kommune, Møre og Romsdal fylkeskommune. Upublisert rapport, Bergen Museum.
- Johansen, A.B. 1973. Iron Production as a Factor in the Settlement History of the Mountain Valleys Surrounding Hardangervidda. *Norwegian Archeological Review* 6(2):84-101.
- Kresten, P. 1988. I: Martens, I & Rosenqvist, A.M. (red.) *Jernvinna på Møsstrand i Telemark*. Norske oldfunn XIII, s. 174-189. Oslo.
- Kristoffersen, S. 1988. En eldre jernalders smie fra Årdalsfjellene. I: Indrelid, S, Kaland, S. & Solberg, B. (red.) *Festskrift til Anders Hagen*. Arkeologiske skrifter 4, s. 79-90. Bergen.
- Larsen, J.H. 1991. *Jernvinna ved Dokkfløyvann*. *De arkeologiske undersøkelsene 1986-1989*. Varia 23. Oslo.
- Martens, I. & Rosenqvist, A.M. 1988 (red.). *Jernvinna på Møsstrand i Telemark*. Norske oldfunn XIII. Oslo.
- Narmo, L.E. 1997. *Jernvinne, Smie og kullproduksjon i Østerdalen*. *Arkeologiske undersøkelser på Rødsmoen i Åmot 1994-1996*. Varia 43. Oslo.
- Risbøl, O. 2004. Rapporter fra registrering av hellegryter. NIKU. Oslo.
- Rundberget, B.H. 2002. Teknologi og jernvinne. Upublisert hovedoppgave i arkeologi, Vitenskapsmuseet, NTNU, Trondheim.
- Stenvik, L.F. 1996. *Undersøkelser i forbindelse med kraftutbygging i Meråker, Nord-Trøndelag*. Rapport. Arkeologisk serie 1996-1. Trondheim.
- Tholander, E. 1987. *Experimental Studies in Early Iron-Making*. Dr. avhandling. KTH Stockholm.

* Begrepene eds og wds står for henholdsvis Energy Dispersive Scanning og Wave Length Dispersive Scanning.