

Om jernfremstillingspladserne nær Tvååker, Halland

Af Vagn Fabritius Buchwald

1. Indledning

De følgende metallurgiske og slaggetekniske undersøgelser er sket på materiale fra Ugglehult og Jernvirke i Sibbarp sogn, samt fra Jernmølle-lokaliteten i Tvååker sogn, Halland. Ugglehult (Döväred) er den snævert bestemte plads ved Sandabäcken (RAÄ 84), hvor omfattende arkæologiske udgravninger har fundet sted i 1993, 1994 og 1995, mens Jernvirke omfatter flere forskellige ovnpladser i en afstand på 800-1200 m sydvest og syd for Ugglehult, deriblandt den først kendte, Sønder Jernvirke (Nihlén 1939), hvor der nu er fremgravet to små ovne midt i en gifelformet slaggebunke, RAÄ 85. Jernmølle-lokaliteten, RAÄ 48, som var den første lokalitet, der blev undersøgt i denne kampagne, har kun leveret et par kilogram slagger.

Et hovedspørgsmål har været om det er muligt at afgøre om Jernvirke-pladserne og Ugglehult-pladsen har arbejdet uafhængigt, eller om f.eks. Jernvirke-pladserne har været forbehandlingssteder for Ugglehult. Et andet, beslægtet spørgsmål er om man kan slutte noget om hvilket produkt, der er blevet afleveret fra de forskellige ovnpladser, om det f.eks. er stangjern, færdigmanufaktur, kloder eller lupper. Med andre ord hvad den latinske vending »ubi fabricatur ferrum« egentlig betyder. Et tredje hovedspørgsmål drejer sig om årsagen til den markante forskel mellem slagger fra Jernvirke og Ugglehult,

idet de første synes at være tættere og have større vægtfylde. For at behandle disse spørgsmål har det været nødvendigt at sammenligne med analyser og erfaringer fra andre ovnpladser, såvel i Sverige som i Danmark. Den database, som jeg indtil nu har opbygget, rummer analyser af ca. 1200 genstande, hvoraf det nærværende Tvååker materiale udgør ca. 80 genstande (Buchwald 2002).

2. Indsamlet materiale

Såvel malme, som slagger, ovnbygningsmateriale og jernholdige genstande er blevet inddraget i undersøgelsen. Mens mange slagger er blevet opsamlet fra overfladen i projektets tidlige fase, er et betydeligt antal prøver udtaget senere i forbindelse med de systematiske gravninger, og de er benævnt derefter, f.eks. RAÄ 84, Anlæg 1, Skakt 1 (A1S1, prøve 1 og 2). Andre er detektorfund fra Ugglehult, som de fleste af de jernholdige genstande, f.eks. F4, F12, F13 og F107A. Detektorfundene er overfladefund, og de kan udmærket være af fremmed oprindelse og af senere dato, da det vides, at der har været mange aktiviteter i Ugglehult langt op i tiden, bl.a. kornmølle i 1700-tallet.

3. Metode

Slagge- og ovnprøverne er blevet delt med diamantskæreskive, hvorefter prøver på 2-10 cm² er blevet

indstøbt i tokomponent, koldhærdende epoxy-masse. Efter slibning og polering til 3 µm diamanttrin er prøverne blevet mikroskopert, og derefter er typiske partier uden korrosion blevet analyseret ved hjælp af SEM-EDAX udstyr (Philips 505 med energidispersivt analyseudstyr 9900). Jernprøverne er blevet fremstillet på tilsvarende måde, blot viste det sig, at det indledende trin med diamantskæring var uegnet. I stedet anvendtes med fordel en hurtigt roterende carborundumskive.

Under analysen indsamledes data for de individuelle faser wüstit, fayalit, hercynit og leucit, ligesom sammensætningen af matrix, i reglen glas, og eventuelt magnetit, kvarts, zirkon, ilmenit og feldspat (i ovnbygningsleret) bestemtes. Derefter vurderedes middelanalsen ud fra volumenandelen af de enkelte faser. Vigtigst er dog den middelanlyse, som etableredes ved hjælp af SEM-EDAX scanning over typiske arealer på 0,1-0,5 mm side. Den analyse, som er indført i tabellerne, er slaggernes middelanlyse som bestemt på to (undertiden tre-fem) forskellige steder af det polerede, uætsede præparat. Ofte er det analyserede areal tillige blevet fotograferet ved hjælp af sekundære elektroner. Ved analysen er der benyttet 20 KV og tællertider på 50-100 live sec, tilt 30° og take off 38°. Bestemmelsen af FeO, SiO₂, MnO, P₂O₅, CaO, Al₂O₃, K₂O, MgO, og SO₃ er af god kvalitet, mens bestemmelsen af BaO, TiO₂, V₂O₅ og Cr₂O₃ er mindre god, dels fordi programmet har vanskeligt ved at skelne mellem energierne for BaO og TiO₂, dels fordi middelkoncentrationen af disse stoffer er lav, normalt <1%. Derimod er det ikke vanskeligt at påvise disse elements tilstedeværelse i de enkelte faser, idet hercynit kan indeholde op til 2 vægt % V₂O₅ og 1 vægt % Cr₂O₃, wüstit kan indeholde op til 0,75 vægt %

TiO₂, og matrix kan indeholde op til 1 vægt % BaO. Med hensyn til Na₂O er det vor erfaring, at den med vort udstyr ligger på grænsen af det troværdige, og Na₂O er derfor negligeret i målingerne. Ved kontrolanalyse af de samme prøver på andre laboratorier er der god overensstemmelse. Dog synes min metode at give Al₂O₃-værdier, som ligger systematisk højt, ca. 5% højere end andres data. Det er imidlertid mindre vigtigt i denne sammenhæng, hvor alle data er indhentet på det samme apparat og ved samme metode og her kun er blevet brugt til indbyrdes sammenligning.

4. Resultater

Analyseresultaterne er samlet i syv grupper, nemlig slagger fra Jernvirke-pladserne (tabel C1), slagger fra Ugglehult (tabel C2), slagger fra Jernmølle (tabel C3), små slagger fra Ugglehult (tabel C4), Kalotslagger fra Ugglehult (tabel C5), jernholdige løsfund fra Ugglehult (tabel D), malme (tabel B) og ovnmaterialer (tabel A), ialt 77 middelanalyser. Disse middelanalyser er umiddelbart sammenlignelige med de andre ca.1100 middelanalyser i min database. Fra databasen er der ekstraheret enkelte eksempler på slaggeanalyser fra blæsterovne i Halland, Skåne, Vester Götland og Småland, tabel E og tabel F, der skal tjene som sammenligningsmateriale. Foruden de kemiske SEM-EDAX analyser er der foretaget en del bestemmelser af veddet i træ-kullene.

Der er ikke gjort noget forsøg på at omregne de kemiske analyser til en mineralnorm. Det er vor erfaring, at dette er alt for usikkert, dels fordi der altid optræder en glasfase i slaggerne, dels fordi de enkelte komponenter kan variere stærkt i sammensætning. Således er fayalit principielt Fe₂SiO₄, men reelt

Mærke	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	65,29	6,05	0,04	0	1,58	19,42	6,80	0,60	0,22	0,01	0	100
2	65,71	9,74	0,01	0	1,62	16,10	5,25	0,88	0,60	0,01	0,09	100
3	60,92	10,77	0,16	0	2,15	17,64	5,85	1,51	0,94	0,01	0,06	100
4	69,63	6,09	0,05	0,06	1,63	15,14	6,06	0,77	0,57	0,01	0	100
5	61,94	14,83	0,10	0,13	2,61	14,96	3,29	1,26	0,76	0,01	0,12	100
6	64,38	10,82	0,28	0	2,30	16,20	5,41	0,20	0,41	0,01	0	100

1. Ugglehult. 84: F23, Anlæg 5, stick 1. Slagge med vedhængende ovnfor
2. Jernvirke. 85: 15, opblæret ovnvæg af ler
3. Jernvirke. 85: 13, slagge med vedhængende ovnvæg
4. Jernvirke. 85: 12, ovnvæg med uomdannede kvartspartikler
5. Jernvirke. 85: 10, opblæret ovnvæg af ler
6. Jernmølle. 48: 83 C, slidt slaggefragment fra Ugglehult med vedhængende ovnfor.

Tabel A. Ovnmaterialer. Middelværdier. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

(Fe, Mn, Mg, Ca)₂ SiO₄, idet der kan være sket omfattende substitution med mangan, magnesium og calcium.

Ud over de her præsenterede middelværdier er der foretaget ca. 200 enkeltanalyser (ikke meddelt) på wüstit, fayalit, hercynit, leucit, zirkon, ilmenit, hibbingit (et nyt korrosionsmineral Fe₂(OH)₃Cl), på slaggematrix (oftest glas), og på det metalliske jern. Jernet er altid, målt ved denne metode, meget rent, idet det indeholder meget mindre end 0,1 % Mn, Si og P. Det kan dog indeholde 0-0,7% C og dermed gå over i stålkaliteter (Moderne jern indeholder i reglen mere end 0,3% Mn og Si).

5. Ovnmaterialer, tabel A

Analyserne er meget ensartede, og de ligner også stærkt fire analyser, som jeg har udført på ovnmaterialer fra Sannarp, Halland. Det er karakteristisk, at K, Al og Si er høje, formentlig reflekterende lerets

hovedkomponenter, feldspat (KAlSi₃O₈) og kvarts (SiO₂), samt disses forvitningsprodukter. Mn, Ba, P, V og S er meget lave, ligesom i Sannarp.

Analysen 85:10 har noget højere FeO-indhold end de andre. Mikroskoperingen viser, at den analyserede del af ovnvæggen var i direkte kontakt med slagge, således at lidt af slaggens FeO var blevet optaget af ovnvæggen.

En sammenligning af de hallandske ovnvægge med tilsvarende danske viser, at danske normalt har højere CaO-indhold (-24%) og lavere Al₂O₃- (10-12%) og K₂O-indhold (2-3%) end de hallandske, svarende til det danske lers generelt højere kalkindhold og lavere Al₂O₃- og K₂O-indhold.

Reaktionen mellem ovnvæg og slagge er lokal og let at se. Der er intet, der tyder på, at de store slaggemængder, som foreligger i dyngerne, er påvirket af ovnvæggene udover rent lokalt, hvor det da er let at se omdannelsen, opblæringen. Med andre ord er

det ikke nødvendigt at korrigere de nedenfor citerede slaggeanalyser for nogen som helst opblanding med ler eller ovenvæge. Serning (1973) har gjort lignende erfaringer.

Ved indsamlingen af ovenvæge var det let at finde prøver på Jernvirke-pladserne, fire analyser mærket 85: i tabel A. Derimod skulle man lede ret omhyggeligt for at finde noget i Ugglehult, den øverste analyse i tabel A. Måske kan dette tolkes som en anvendelse af to forskellige ovenbygningsprincipper. I Jernvirke var ovnene lerbyggede rør, således som de to fundne (RAÅ 85), mens der i Ugglehult kan være blevet benyttet stensatte ovne med en lille smule lerforing / tætning. Stenene synes senere at være blevet fjernet til genbrug andre steder, med visse undtagelser.

6. Malme, tabel B

Malmene omfatter to eksempler på rødjord, mærket R, og otte eksempler på fast myremalm. Ugglehult rødjorden opsamledes på skrånningen ca. 200 m nord for RAÅ 84 ved et tilløb nordfra til Sandabäcken. Den faste myremalm opsamledes på markerne og i diget nær den oprindelige Sønder Jernvirke lokalitet, RAÅ 85. En stor blok i Ugglehult udgravningen, som en tid antoges for at være en grov slagge, erkendtes som fast myremalm, da vi den 29. august 1995 slog et hjørne af for nærværende analyse, Ugglehult F 84.

Man må indrømme, at vor analysemetode ikke er særlig velegnet til pulverformige eller ukonsoliderede materialer af den store heterogenitet, som malmene her udviser. Alligevel er det forsøgt at give et semikvantitativt billede, idet der er midlet over et stort antal individuelle korn og fragmenter. Mest usikker er SiO₂-andelen, der naturligvis påvirkes af

gørende af den, tilfældige, mængde kvarts, der foreligger i præparatet. Men datidens bjergmand har haft samme problemer. Det viser sig iøvrigt, at SiO₂-andelen foreligger i malmen på to helt forskellige måder. Dels er der de individuelle mineralkorn, i reglen af kvarts (sandkorn), men dels er der en gel-andel, hvor SiO₂ går ind i den amorf jernhydroxidmasse sammen med en del mangan og fosfor. Denne del af SiO₂ udgør i reglen 5 vægt% eller mere, og den vil aldrig kunne adskilles mekanisk fra malmen, hvorfor den går med over i slaggen som en væsentlig bestanddel. Sandkornene har man derimod i et vist omfang kunnet sortere fra.

Middeltallet af de ti analyser (som selv er middeltal) viser, at malmen har indeholdt 80,9 % Fe₂O₃ (svarende til ca. 56% Fe), 11,4 % SiO₂, 0,54% MnO, 0,48% P₂O₅, 0,34% CaO, 5,31 % Al₂O₃ og 0,18 % MgO foruden små mængder af andre stoffer.

Man skal dog huske, at malmens indhold af jern, her 56%, er beregnet på grundlag af, at summen af de analyserbare elementer er 100%. Da malmen tillige indeholder væsentlige, men ikke målte mængder vand og karbonater, måske ialt 25%, er det egentlige jernindhold, beregnet på opgravet malm-mængde, tilsvarende mindre, ca. 42-50%. Endvidere er analyserne foretaget på materiale, som var relativt frit for kvartskorn, hvorfor det virkelige jernindhold i praksis har været mindre og SiO₂-indholdet større.

Malmanalysen tjener især til at vise de væsentlige forhold mellem Fe, Si, Mn, Al osv, som igen kan tjene som sammenligningsgrundlag for andre malme, f.eks. en myremalm fra Danmark eller en bjergmalm fra Bergslagen. Malmens sammensætning er den væsentligste faktor for slaggens sammensætning, og det er derfor nødvendigt at kende den.

Mærke	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	5,28	88,19	0,49	0	0,19	5,40	0,04	0	0,04	0	0,37	100
2	6,99	87,60	0,23	0,44	0,25	3,47	0,13	0,23	0,13	0	0,66	100
3	5,55	86,43	0,36	0,56	0,24	6,33	0,11	0,42	0	0	0	100
4	18,57	74,24	0,07	0,69	0,27	5,00	0,46	0,26	0	0	0,44	100
5	29,14	60,72	0,40	0,39	0,74	6,86	1,44	0,07	0	0	0,24	100
6	8,03	82,25	1,32	0,30	0,31	6,68	0,08	0,45	0,13	0	0,45	100
7	10,93	84,16	0,30	0,38	0,13	3,27	0,22	0,06	0,17	0	0,38	100
8	2,85	94,20	0,16	0	0,28	1,94	0,06	0	0,14	0	0,38	100
9	13,37	78,37	0,64	0,59	0,69	4,59	0,56	0	0,49	0,39	0,31	100
10	13,21	72,78	1,44	1,47	0,31	9,57	0,24	0,36	0	0	0,62	100
Middel	11,39	80,89	0,54	0,48	0,34	5,31	0,33	0,18	0,11	0,04	0,39	100

1. Sønder Jernvirke. 22693, myremalm indsamlet på marken nær lokalitet 85
2. Sønder Jernvirke. 20 592-10, myremalm indsamlet på marken nær lokalitet 85
3. Sønder Jernvirke. 85, myremalm samlet i hegnet om lokalitet 85
4. Sønder Jernvirke. 85-92-10 -R, myremalm/rødjord samlet på pløjemarken nær lokalitet 85
5. Sønder Jernvirke. 20 592-9, myremalm samlet på pløjemarken nær lokalitet 85
6. Jernvirke. 61, myremalm opsamlet ved den korsformede udgravning, lokalitet 189
7. Ugglehult. F 84, fragment af en stor blok fast myremalm nær slaggebumkerne, lokalitet 84
8. Ugglehult. G-5-8, lille fragment af myremalm fra det halvcirkelformede stenfundament, Anlæg 5, skakt 8, lokalitet 84, hvor der forekom en finkornet blanding af slaggeperler, slaggefragmenter og myremalm
9. Ugglehult. I-5-8, lille fragment af myremalm, som nr. 8
10. Ugglehult. 84 R, rødjord indsamlet langs Sanna Å, vest for lokalitet 84.

Tabel B. Malme. Middelværdier. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

Det er typisk for den hallandske malm, at der er ca. 15 gange så meget Al₂O₃ som CaO, og 10 gange så meget Al₂O₃ som P₂O₅. Til sammenligning kan anføres, at nordsjællandske myremalme har dobbelt så meget CaO som Al₂O₃, og syv gange så meget P₂O₅ som Al₂O₃. Disse meget væsentlige forskelle giver sig klart udtryk i sammensætningen af de resulterende slagge og af jernet, idet dansk jern gennemgående er fosforrigt (Buchwald 2002). Undertiden forekom-

mer der i den hallandske malm små korn af zirkon, ZrSiO₄, et mineral, der næppe vil findes i nogen dansk malm, Fig. 22.

7. Slagger, tabel C1 og C2

For den følgende diskussion vil jeg introducere et binært diagram for slaggens middelindhold af FeO og SiO₂, (fig. 1-3). Figurernes slaggeværdier er taget direkte fra tabellernes middelværdier. Da summen

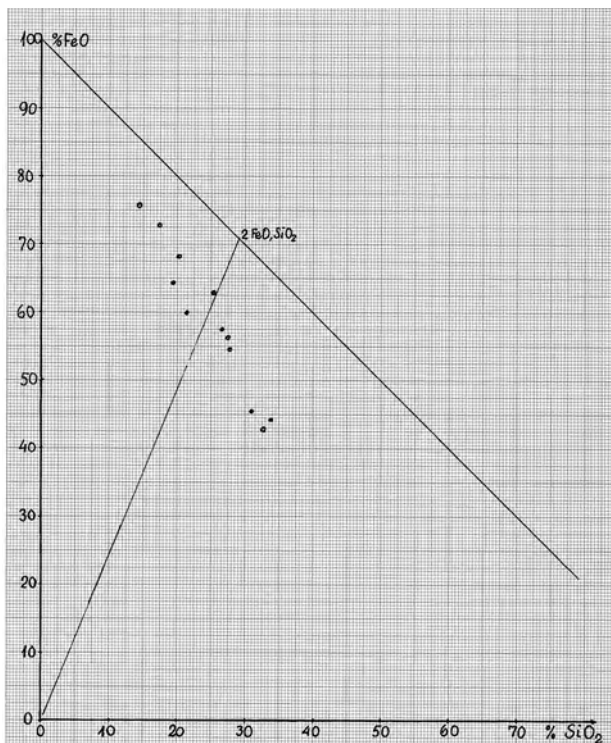


Fig. 1. Slagger fra Jernvirke. Middelværdierne af SiO_2 og FeO fra tabel C1 er afsat mod hinanden. Afstanden til den skrå 45° linie er et mål for summen af de øvrige oxider. Hjælpe-linien til $2 \text{FeO}, \text{SiO}_2$, = fayalit, Fe_2SiO_4 viser hvor mol-forholdet FeO/SiO_2 er 2:1.

af FeO og SiO_2 er mindre end 100%, viser punkternes afstand fra den skrå linie gennem 100% FeO den samlede mængde af andre komponenter. Som hjælpe-diagrammer kan indføres $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ og andre, men her vil vi kun se på slaggernes placering i $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ diagrammet.

De tolv Jernvirke-slagger i tabel C1, falder i en gruppe, som er væsentlig rigere på FeO end de 19

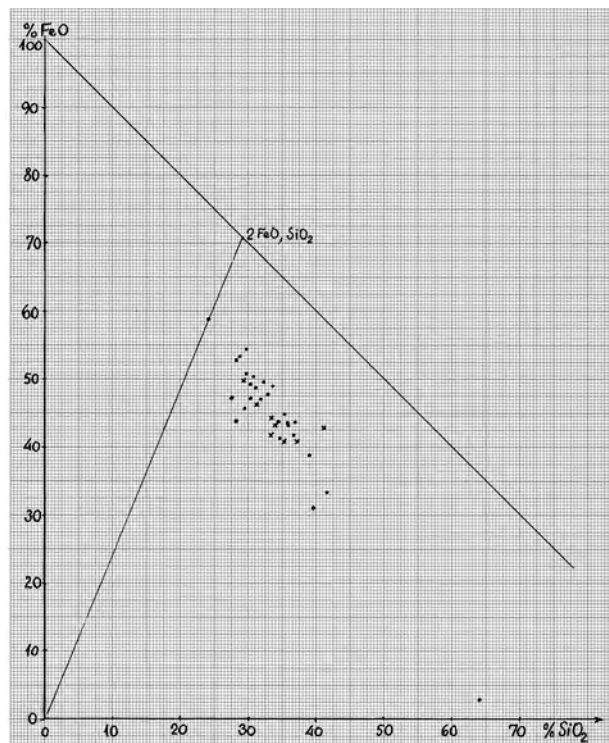


Fig. 2. Slagger fra Ugglehult (\bullet) og Jernmølle (\times). Middelværdier af SiO_2 og FeO fra tabel C2 og C3 afsat mod hinanden. De små Jernmølle-frag-menter (\times) falder midt i klyngen af Ugglehult slagger. Hele sættet er for-skudt ned-ad i forhold til Jernvirke slaggerne i fig. 1, og jernudbyttet har været større.

Ugglehult-slagger i tabel C2. Med andre ord har udbyttet i Jernvirke-ovnene været ringere end i Ugglehult-ovnene, hvor en mindre mængde FeO er forblevet i slaggerne.

I histogrammerne 1 og 2 kan den samme tendens vises på en anden måde, idet antallet af analyser er afbildet som funktion af summen af FeO og MnO . Mens Jernvirke-slaggerne åbenbart er ret varierende

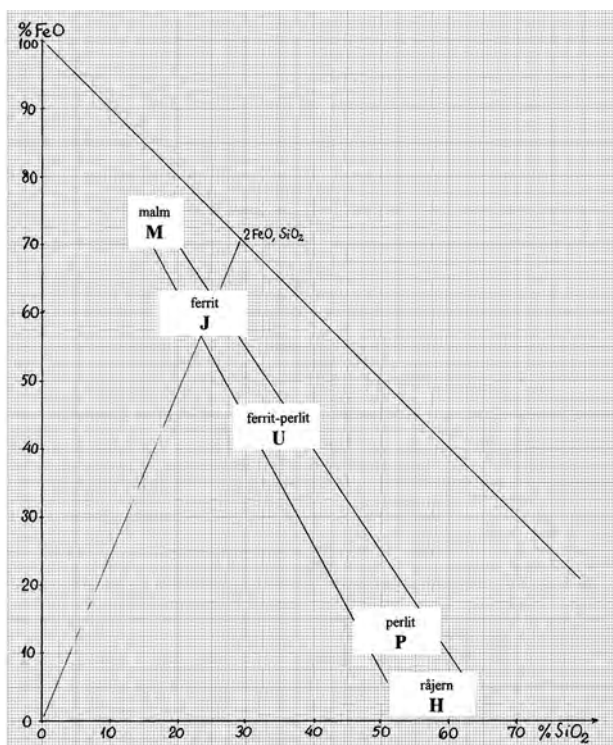


Fig. 3. Generelt diagram, der viser reduktionsprocessen fra jernmalm M, over kulfattigt smedejern J, svagt opkullet smedejern U, stærkt opkullet jern (stål) P, til råjern (støbejern) H, for samme udgangspunkt med hensyn til malm. Situationen i Jernvirke ligger nær J og den i Ugglehult nær U. Små slaggefragmenter og perler kan være stærkt reducerede, til P og H, men de repræsenterer ikke de væsentlige forhold.

med hensyn til FeO+MnO, ligger Ugglehult-slaggerne i en klump, hvilket antyder en bedre kontrolleret proces, der har ført til et ret ensartet og noget større udbytte.

I histogram 3 er der samlet analyser fra svenske udvindingspladser fra oldtid og vikingetid, hvor der med sikkerhed ikke er anvendt vandmølle, f.eks. Rätan, Myssjön, Edsviken og Tranemo. I histogram 4

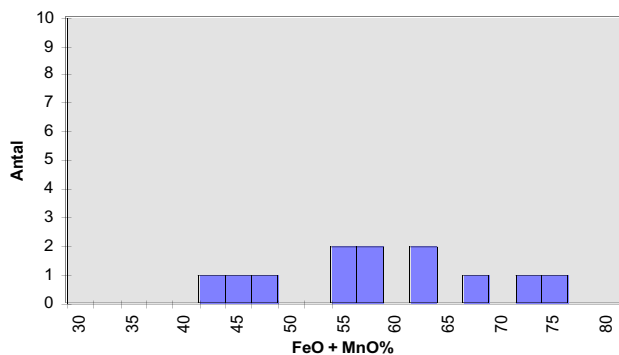
er der samlet svenske udvindingslagger fra middelalderen og renæssancen, hvor vandmøllen med sikkerhed har været i brug, f.eks. Stenså, Hörja og Bölinge. I histogram 5 er der samlet analyser fra danske udvindingslagger fra oldtid, vikingetid og middelalder, hvor vandmøllen med sikkerhed ikke har været i brug, f.eks. Ejer Bavnehøj, Espevej og Snorup.

Histogrammerne viser, at der med tiden er sket et markant ryk mod venstre, dvs. mod bedre jernudbytte. De ældste danske jernudvindingspladser fra Snorup har typisk 65-75 % FeO+MnO i slaggen, de ældste svenske, f.eks. Skäggared, 61-72 % FeO+MnO i slaggen. Derimod har de sene forekomster sjældent mere end 55% FeO+MnO i slaggen.

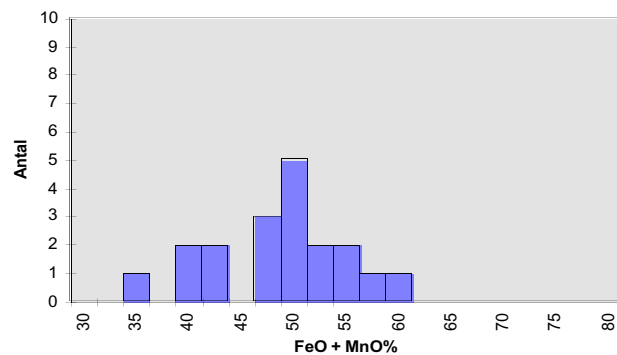
Histogram 1, 3 og 5 viser tillige, at det undertiden, eller lokalt, har været muligt at opnå et godt udbytte, men at sikkerheden ikke var særlig stor. På samme plads og tid kan man finde slagger af ret varierende sammensætning, således som det f.eks. er tilfældet med de tolv Jernvirke-slagger.

Derimod er der mere samling og ensartethed samt væsentligt større udbytte i histogrammerne 2 og 4, hvilket kun kan skyldes indflydelsen af en eller to blæsebælge, der drives af et vandhjul. Disse slaggers tidsmæssige placering er ad arkæologisk vej alle bestemt til at være fra 1100-tallet eller senere, hvilket ikke er i modstrid med, at man omtrent på denne tid tog vandmøllen i brug i Skandinavien.

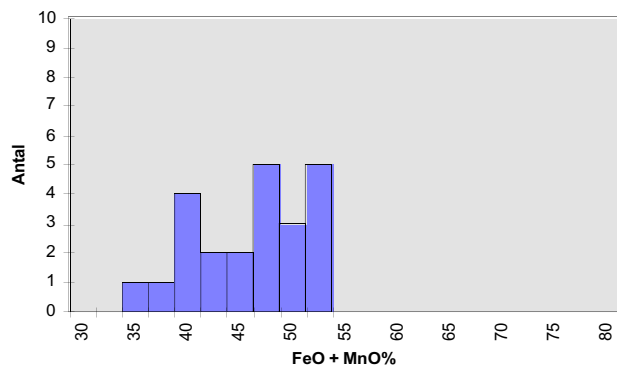
Jernvirke-slaggerne og andre tilsvarende slagger med højt FeO+MnO indhold har naturligvis et tilsvarende lavt SiO₂ indhold. Dette betyder, at slaggens viskositet har været relativt lav, at den har kunnet flyde sammen til kompakte stykker, og at opløste gasser har kunnet forlade slaggen relativt let. Alt dette medvirker til at give en kompakt og tung slagge med ringe porøsitet.



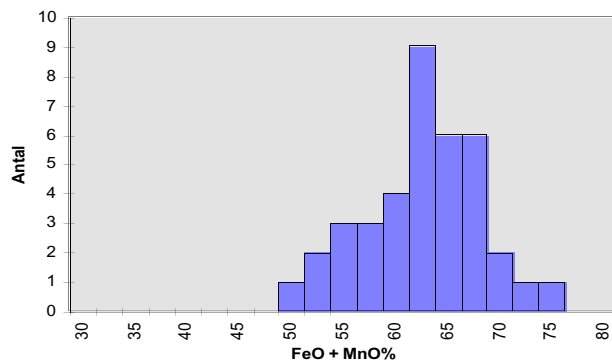
Histogram 1. 12 slagge fra Jernvirke, uden vandkraft.



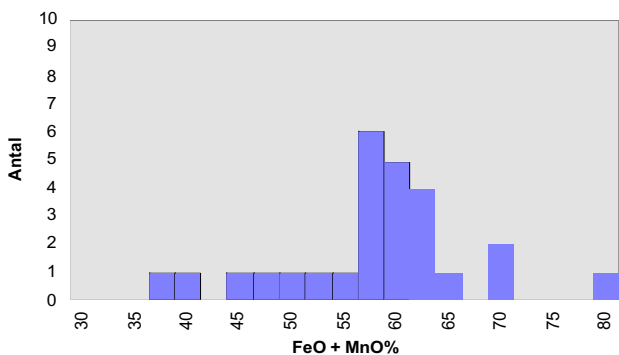
Histogram 4. 19 slagge fra Sverige, med vandkraft.



Histogram 2. 23 slagge fra Ugglehult, med vandkraft.



Histogram 5. 38 slagge fra Danmark, uden vandkraft.



Histogram 3. 26 slagge fra Sverige, uden vandkraft.

Modsatningen er den SiO₂ rige slagge, som er knyttet til de højere jernudbytter. Slaggen har høj viskositet, og de opløste gasser får slaggen til at blære op. Det mindre FeO+MnO indhold og den større porøsitet får denne slaggetype til at virke lettere end den førstnævnte.

I Ugglehult slaggerne ses hyppigt små 1-50 µm kugler af smeltet råjern som inklusioner, fig. 13 og 15. Dette viser, at de vanddrevne bælgelæder kan drive reduktionsprocessen længere end godt er. Det tilsvarende jern må have haft et kulstofindhold på mere

Mærke	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	14,30	76,29	0,18	0,50	1,92	5,13	1,01	0,27	0,00	0,01	0,40	100
2	25,18	62,81	0,12	0,47	1,72	7,37	1,67	0,26	0,00	0,01	0,40	100
3	17,19	73,31	0,25	0,42	2,01	4,99	1,23	0,29	0,00	0,01	0,31	100
4	20,03	68,79	0,26	0,54	2,24	5,75	1,61	0,46	0,01	0,01	0,32	100
5	26,52	58,91	0,64	0,33	2,82	8,00	2,08	0,23	0,18	0,01	0,29	100
6	19,20	66,74	0,20	0,26	2,13	9,19	1,25	0,54	0,16	0,01	0,33	100
7	21,28	63,40	0,38	0,52	1,26	10,49	1,70	0,27	0,22	0,18	0,30	100
8	30,97	45,99	0,55	1,24	4,04	11,97	3,31	0,64	0,53	0,34	0,42	100
9	27,47	57,56	0,42	0,46	2,14	9,31	1,82	0,22	0,28	0,10	0,22	100
10	33,81	46,06	4,62	0,43	2,46	9,01	2,44	0,58	0,37	0,12	0,10	100
11	32,68	43,76	0,95	0,61	5,26	12,15	2,78	0,85	0,38	0,32	0,26	100
12	27,64	55,98	1,27	1,24	1,91	9,12	1,67	0,55	0,30	0,01	0,32	100
Middel	24,69	59,97	0,82	0,59	2,49	8,54	1,88	0,43	0,20	0,09	0,31	100

1. 85-10, 250 g tung slagge fra Sønder Jernvirke, RAÄ 85
2. 85-11, 700 g tung tapslagge, sammesteds
3. 85-14 A, 400 g tapslagge, sammesteds
4. 85-16, 115 g slagge med fastsiddende ovnvæg, sammesteds
5. 85-17, 239 g tapslagge, sammesteds
6. 20592, 145 g tung tapslagge, sammesteds
7. 85-51, 400 g slagge fra Jernvirke, RAÄ 189
8. 85-52, 200 g slagge, sammesteds
9. 85-62, 353 g tapslagge, sammesteds
10. 85-63, 1038 g slagge, sammesteds
11. 85-F 3, 5 kg flad, lagdelt tapslagge, sammesteds
12. 85-4F3, 360 g lagdelt tapslagge, sammesteds.

Tabel C 1. Jernvirke. Middelverdier på 12 slagge. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

end 0,2%, og det er ikke lige det, der har været ønsket som smedejern. Lader man bælggen gå endnu kraftigere og øger ovnens størrelse og kulforbrug, kommer der efterhånden en situation, hvor produktet ikke længere er smedejern, men støbejern (tack-järn). Dermed stiger jernudbyttet dramatisk, jvf. beregningerne længere fremme.

Alle, undtagen tre, af de undersøgte slagge er af typen tapslagge, dvs de har bevæget sig fra ovnens indre, reducerende atmosfære ud gennem et tap-hul, hvorefter de er størknet mod et fremmed underlag i en oxiderende atmosfære. I mange tilfælde kan man både visuelt og i mikroskopet identificere en underside, der har 50-100 µm tykke reaktions-

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	BaO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	38,99	38,82	2,84	-	0,44	2,71	11,67	3,37	0,67	0,41	0,01	0,08	100
2	32,89	48,83	1,49	-	0,53	3,05	9,14	2,93	0,61	0,33	0,01	0,20	100
3	36,70	43,54	3,09	-	0,50	3,62	8,59	2,60	0,74	0,45	0,01	0,17	100
4	30,40	48,64	4,03	0,27	0,48	2,98	9,05	2,98	0,70	0,38	0,01	0,09	100
5	39,51	31,45	9,97	0,92	0,43	2,82	10,47	3,28	0,63	0,40	0,01	0,12	100
6	29,45	49,11	0,38	-	0,65	3,67	12,80	2,65	0,50	0,38	0,10	0,31	100
7	29,91	57,59	0,23	-	0,38	1,74	7,01	1,99	0,58	0,32	0,01	0,25	100
8	28,01	44,95	0,32	-	0,52	4,25	17,63	2,57	1,12	0,28	0,01	0,35	100
9	27,44	50,81	0,36	-	0,57	4,55	12,12	2,64	0,83	0,31	0,01	0,39	100
10	41,49	36,56	3,79	-	0,23	3,04	10,12	3,45	0,74	0,48	0,01	0,10	100
11	31,71	48,83	0,79	-	0,95	3,37	10,92	2,55	0,58	0,30	0,01	0,01	100
12	30,85	53,54	0,95	-	0,48	2,00	8,69	2,27	0,29	0,31	0,30	0,32	100
13	35,71	45,38	2,28	-	0,40	1,86	10,38	2,50	0,71	0,41	0,14	0,23	100
14	24,00	59,89	0,34	-	0,56	2,13	10,04	1,87	0,45	0,22	0,01	0,50	100
15	33,56	51,89	0,95	-	0,18	2,27	7,82	2,55	0,36	0,36	0,01	0,06	100
16	32,41	51,29	1,17	-	0,36	2,08	9,32	2,47	0,58	0,28	0,05	0,12	100
17	29,54	52,25	2,20	-	0,90	1,99	10,05	1,94	0,56	0,36	0,01	0,21	100
18	30,35	50,70	0,58	-	0,59	2,38	11,74	2,29	0,70	0,18	0,01	0,49	100
19	31,06	51,82	3,27	-	0,84	2,01	7,70	2,32	0,30	0,43	0,08	0,17	100
Middel	32,31	48,20	2,05	0,06	0,53	2,76	10,28	2,59	0,61	0,35	0,04	0,22	100

1. 84-31, 260 g tapslagge, slaggevarp A 18, RAÄ 84
2. 84-32, 550 g tapslagge, sammesteds
3. 84-33, 300 g tapslagge, do.
4. 84-34 A, 950 g rusten slaggeklump fra "halvøen", slaggevarp A 9, RAÄ 84
5. 84-35, 325 g slagge, sammesteds
6. 84-37, 100 g tæt pølse-slagge, slaggevarp A 10, RAÄ 84
7. 84-38, 138 g flad tapslagge, sammesteds
8. 84-39 A, 140 g pølseslagge, sammesteds
9. 84-39 B, et andet snit i samme slagge
10. 20 592.2, 135 g slagge med højovnsslagge-lignende partier, slaggevarp A 10, RAÄ 84
11. 20 592.4, 190 g slagge, sammesteds
12. A 1 S 1, 1071 g slagge, Anlæg 1 (husgrund), skakt 1, lager 3, RAÄ 84
13. A 1 S 1-2, 47 g tapslagge, sammesteds
14. 2: 8-2, 3,7 g slaggefragment, sammesteds

15. A 5 S 8, F 34, 54 g pladeformet tapslagge, Anlæg 5 (stenfundament), skakt 8, RAÄ 84
16. F 84-X, 49 g tapslagge fra slagghvarp A 10, RAÄ 84
17. F 25, 230 g tapslagge, løsfund
18. A 4 S 5, F 50, 988 g lagdelt tapslagge, Anlæg 4, skakt 5, RAÄ 84
19. 3-10-96, 50 g fragment fra toppen af slagghvarp A 10, RAÄ 84

Tabel C 2. Ugglehult. Middelværdier på 19 slagge. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

zoner mod underlaget, der kan være sand, trækulsmulle etc. Ligeledes kan der identificeres en overside, som viser et ydre, 20-50 µm tykt oxideret lag rigt på finkornet magnetit og med en ydre magnetitskal på nogle få µm tykkelse. Sugningen har ofte efterladt de først størknende magnetit-, wüstit- og fayalitkrystaller i et filtet netværk, mens den glasmatrix, der ellers fylder ud, i sidste øjeblik er blevet suget væk, (fig.9, 10 og 12).

Tapslaggeerne kan endvidere erkendes, såvel makroskopisk som mikroskopisk, på de indre grænseflader, der er fremkommet når nydannet tapslagge er strømmet ud over allerede størknet slagge, (fig.6 og 7). Hvor den tidligere slagge allerede var nået at blive kold, har det givet anledning til bratkølingseffekter, der har medført finkornet krystallisation lige i grænsefladen.

De tre slagge, der afviger morfologisk, er tre kalotslagge på 445 g, 535 g og 407 g, som opsamledes 29.august 1995 i et snævert område ved Sandabäcken, Ugglehult, Skakt 9, Ruta 2, mærket 1, 2 og 3 tabel C5. Der har vel været 30-40 lignende slagge ialt i dette område, og de adskilte sig tydeligt fra de andre slagge, der enten var tapslagge eller fragmenterede tapslagge. Formentlig har der i dette område fundet en beskeden (i tid og/eller i mængde) lupperensning sted, hvilket har resulteret i nogle snese kilogram rensede »slaggefrit« jern for manufak-

tur (hestesko, søm, værktøj etc.) til brug for arbejderne på stedet.

Kemisk set adskiller kalotslaggeerne sig kun på en måde fra de øvrige slagge, nemlig ved et lavere manganindhold. Det kommer af, at et væsentligt bidrag til kalotslaggen kommer fra oxidation af jernluppen. Dette indfører ekstra FeO i slaggen uden at tilføje nyt MnO, da jernet er manganfrit (Buchwald 2002).

Det må antages, at det jern, der blev produceret i Jernvirke, var fattigere på kulstof end det, der blev produceret i Ugglehult. Slaggeanalysernes beliggenhed i fig. 1 og 2 peger på et indhold af < 0,1 % C i Jernvirke, men 0,1-0,2 % C i Ugglehult. Hvis reduktionen i Ugglehult, lokalt eller tilfældigt, blev drevet længere, kunne man komme til at producere perlitisk, eutektoidt stål (0,7% C), eller endog egentligt råjern, som markeret på fig. 3, med de tilsvarende slaggesammensætninger.

Som det er fremgået af det foregående tilhører slaggeerne fra Jernvirke og fra Ugglehult to forskellige, men helt almindelige kategorier. Jernvirke-slaggeerne er af den type, der siden oldtiden dannedes i små blæsterovne med naturlig træk eller opereredes med håndbetjente blæsebælge, og jernudbyttet var ret beskedent. I tabel E er der til sammenligning med Jernvirke anført analyser på tilsvarende slagge fra forskellige lokaliteter i Halland, Skåne, Vester

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	29,06	53,30	1,75	0,39	1,74	10,32	2,15	0,53	0,31	0	0,45	99,9
2	31,07	49,83	1,03	0,54	2,33	11,31	2,86	0,34	0,32	0,17	0,20	100
3	35,45	44,99	1,02	0,20	2,19	12,39	2,66	0,31	0,39	0,19	0,21	100
4	41,04	45,83	0,44	0,45	2,11	7,09	2,28	0,26	0,18	0,10	0,22	100
5	33,48	42,53	1,42	0,38	5,94	11,56	2,92	1,05	0,46	0,18	0,08	100
6	37,38	44,39	0,71	0,31	2,30	10,99	2,83	0,35	0,35	0,15	0,24	100
7	33,55	46,14	0,57	0,38	2,04	13,36	3,03	0,39	0,27	0	0,27	100
8	33,92	44,98	1,48	0,40	2,19	13,42	2,65	0,33	0,44	0	0,19	100
Middel	34,37	46,50	1,05	0,38	2,61	11,30	2,69	0,44	0,34	0,10	0,23	100

1. 48-55 A, slidt og tumlet fragment på 20 g
2. 48-55 B, slidt og tumlet fragment på 25 g
3. 48-64 A, slidt og tumlet fragment på 48 g
4. 48-64 B, slidt og tumlet fragment på 8 g
5. 48-64 C, slidt og tumlet fragment på 12 g
6. 48-83 A, slidt og tumlet fragment på 55 g
7. 48-83 B, slidt og tumlet fragment på 61 g
8. 48-83 C, slidt og tumlet fragment med lidt ovnfor, 61 g.

Tabel C 3. Jernmølle. Middelværdier på slagger. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

Götland og Småland. Slaggenes analyser, udseende og struktur stemmer godt overens med slaggerne fra Jernvirke. Lokalteterne Tranemo og Örsås er nærmere omtalt af Englund (1994), mens den skånske jernproduktion er behandlet af Ödman (2001).

I tabel F er anført analyser på slagger, som svarer til dem, der ligger omkring anlægget i Ugglehult, RAÄ 85. Der er fire fra Halland og fire fra Skåne, og de er alle ret sene, efter 1200 AD. Fælles for disse slagger er, at de stammer fra blæsteroovne, hvor man havde installeret vandmølle-drevne blæsebælge. Malmen har bestået af myre- og sømalme, hvorimod bjergmalm ikke er blevet anvendt. Udbyttet af jern var ret godt som det fremgår af forholdet SiO₂/FeO.

Slaggenes analyser, udseende og struktur svarer godt til Ugglehult-slaggerne. Desværre er Ugglehult ovnene ikke blevet identificeret, fordi overparterne mangler. Hvis de imidlertid har lignet de senere stenbyggede ovne, som vi f.eks. kender fra Norräs-ovnen (Busch 1972), er det forståeligt at stenene nu er fjernet og genbrugt andre steder.

8. Slagger fra Jernmølle, RAÄ 48, tabel C 3.

Det blev i januar 1997 besluttet at inddrage slaggerne fra gården Jernmølle, RAÄ 48, i projektet. Der var kun fundet få slagger – et par liter – ved de systematiske arkæologiske gravninger i 1993 i Sandabäcken, men det ville dog være interessant at få fastslået de-

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	28,46	56,10	1,25	0,30	2,09	8,69	2,26	0,31	0,33	0,08	0,13	100
2	35,65	46,69	4,09	1,74	1,27	8,06	1,34	0,38	0,56	0	0,22	100
3	20,69	65,64	0,45	0,57	2,01	8,10	1,84	0,03	0,24	0	0,43	100
4	28,06	60,25	0,62	0,11	1,36	7,64	1,48	0,18	0,24	0	0,06	100
5	34,53	46,96	4,18	0,17	2,58	8,71	2,17	0,19	0,48	0	0,03	100
6	24,95	65,77	1,46	1,30	0,33	4,46	0,05	1,08	0,16	0	0,44	100
7	32,53	50,23	3,89B	0,21	1,87	8,22	1,98	0,26	0,35	0,08	0,20	100
8	29,63	52,04	4,30	0,48	1,58	8,75	2,05	0,42	0,46	0,14	0,15	100
9	64,27G	6,55	0,76	0	6,70	13,63	6,57	0,91	0,61	0	0	100
10	37,77	41,00	2,73	0,68	4,39	8,58	3,12	0,74	0,53	0,12	0,34	100

G glasslagge. B tillige 0,18% BaO.

1. FF 2, 20 mm slagge, Anlæg 5, skakt 8
2. FF 3, 26 mm slagge, Anlæg 5, skakt 8, stick 3, 5 g.
3. 10 mm minislagge, præparat G. Anlæg 5 skakt 8
4. Slaggeperle 84: F 96 A, 3 mm i diameter, med sugning. X621,59, Y976,42, Z 52,28.
5. Slaggeperle 84: F 96 B, 4 mm i diameter, med sugning. Sammesteds.
6. Præparat GM. 5 mm perle af forbrændt jern.
7. Slaggeperle 84: F 96, 2A, 5 mm i diameter.
8. Slaggeperle 84: F 96, 2G, 6 mm i diameter.
9. Halvstor slaggekugle, glas. 9 x 8 mm. 84: Anlæg 5 skakt 1.
10. Slaggeperle 84: F 96, 2H, 8 x 7 mm.

Table C 4. Ugglehult. Små slagge og slaggeperler. Middelværdier. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

res karakter og få undersøgt om de repræsenterede en selvstændig virksomhed, f.eks. smedning, ved Jernmølle.

Følgende prøver blev udtaget af Bo Strömberg 17. januar 1997:

F 55-R 6: ti små slaggefragmenter, ialt 144 g. Største stykke 32 g. Et er svagt magnetisk, de øvrige umagnetiske.

F 64-R 4: 11 små slaggefragmenter, ialt 124 g. Største stykke 48 g. Alle er umagnetiske.

F 83-R 7: fem slaggefragmenter på 65, 61, 61, 55

og 42 g, ialt 271 g. To er svagt magnetiske, tre er umagnetiske.

Visuel betragtning viser, at alle fragmenterne i vekslende grad er stødt og slidt. Kanterne er afrundede, og fladerne synes påvirkede af vand og is. I deres ydre form og størrelse adskiller de sig således noget fra slaggerne fra Jernvirke og Ugglehult. Snit gennem fragmenterne viser imidlertid, at tekstur, blærer, porøsiteter og spredte aftryk af trækul meget ligner forholdene i Ugglehult materialet.

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	34,86	43,68	0,46	0,50	3,98	11,54	3,51	0,86	0,39	-	0,22	100
2	36,20	43,49	0,29	0,30	3,98	10,54	4,02	0,72	0,38	-	0,08	100
3	28,70	55,08	0,23	0,38	2,29	9,58	2,92	0,39	0,28	-	0,15	100
Middel	33,25	47,42	0,33	0,39	3,42	10,55	3,48	0,66	0,35	-	0,15	100

1. Kalot 1, 445 g kalotslagge fra Skakt 9, ruta2, RAÄ 84. Med sten og trækul.
2. Kalot 2, 535 g kalotslagge med trækulsinklusioner, sammesteds.
3. Kalot 3, 407 g kalotslagge, sammesteds.

Tabel C 5. Ugglehult. Middelværdier for tre kalotslagge. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

Der blev udtaget otte fragmenter til nærmere undersøgelse, to fra F 55, tre fra F 64 og tre fra F 83. Analyserne er indført i tabel C 3. Der er beregnet middelværdier af de otte slaggefragmenter til sammenligning med middelværdierne for tidligere målte slagge fra Jernvirke, tabel C 1, og Ugglehult, tabel C 2. Middelværdierne viser – ligesom de mikroskopiske strukturer, (fig. 16-19) – at Jernmølle-slaggerne er identiske med slagge fra Ugglehult. De stødte og knubsede, og altid små slagge fra gården Jernmølle, må derfor tolkes som stammende fra Ugglehult. Den mest nærliggende forklaring er, at de i løbet af århundrederne af vand og is er blevet transporteret et par kilometer ned ad Sandebækken. Denne konklusion medfører, at man også andre steder langs Sandebækken skulle kunne finde enkelte transporterede slagge af samme karakter.

På et af slaggefragmenterne, 48-83 C, er der en fastbrændt skorpe, som mikroskopisk og analytisk (se tabel A, Ovnmaterialer) kan vises at være en del af en ovnvæg. Identificerbare mineraler er kvarts, Ca- og K-feldspat og zirkon, ZrSiO₄. Ovnvæggen er ikke mere end 0,5 mm tyk. Enten har den aldrig været tykkere, eller også er en del blevet slået af under

transporten i bækken. Det mest sandsynlige er dog, at skorpen repræsenterer den tynde lerforing, hvorved en stenbygget ovn kan have været forsynet.

9. Små slagge og fragmenter og »hyttegulv« fra Ugglehult, RAÄ 84, tabel C 4.

Mens hovedparten af Tvååker analyserne er udført på slagge af betydelig størrelse (100-1000 g), er der i denne supplerende undersøgelse lagt vægt på at inddrage andre kategorier i analyserne. Det drejer sig om en række prøver fra Ugglehult, RAÄ 84:

a) Anlæg 5 Skakt 8 Stick 3, såkaldt fældeslagge, ialt ca. 200 g fordelt på ca. 50 rustne fragmenter af 0,5-2,5 cm tværsnit. Nogle fragmenter havde rester af trækulssplinter. Alle var så godt som umagnetiske. Præparat FF3 i tabel C 4, og fig. 4.

b) Anlæg 5 Skakt 8, ca. 300 g, fordelt på mange hundrede rustne fragmenter, 0,2-1 cm i tværsnit. De fleste er noget magnetiske, hvilket sikkert hænger sammen med den måde, de er blevet udtaget og fraseret på ved den arkæologiske udgravning. En grundig undersøgelse afslørede ingenammerskæl i materialet. Herfra præsenteres de to analyser mærket A5 S8 i tabel C4. Se også fig. 5.

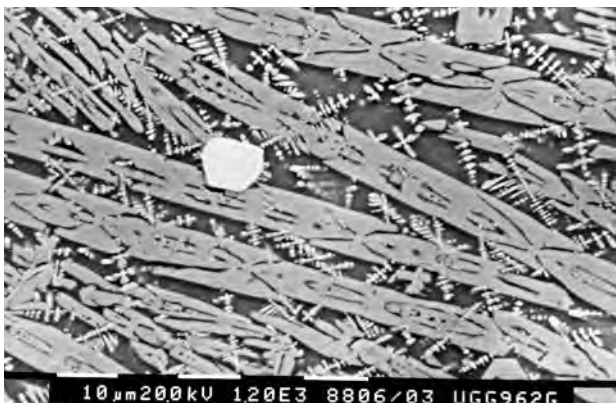


Fig. 4. F 96-2G. Umagnetisk, kugleformet perle, 6 mm i diameter. 5% wüstit, 50% fayalit, 45% glasmatrix, Hist og her en kantet 10 µm jernpartikel, der ikke er nok til at gøre slaggen magnetisk udadtil.

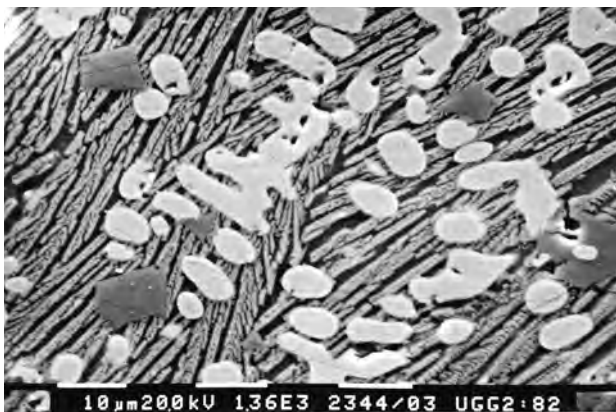


Fig. 5. Skakt 8, Stick 2. 3,7 g slaggefragment. Hvide wüstitendritter, matrix af lige dele fayalit og glas. I billedfeltet fire 10 µm store hercynit krystaller.

c) Halvtreds næsten kugleformede perler, 4-9 mm i tværsnit, ialt 12 g. Halvdelen er umagnetiske, halvdelen svagt magnetiske. Mærket F96, koordinater X 621,59-Y 976,42-Z52,28 (1995). Præparaterne F96 A

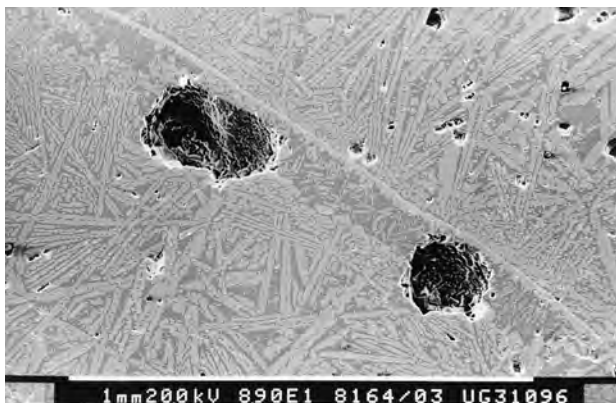


Fig. 6. Ugglehult 3-10-96. 50 g fragment fra toppen af den store slaggebunke ved vandmøllen. Tapslagge. Man ser grænsen mellem to slaggelag.

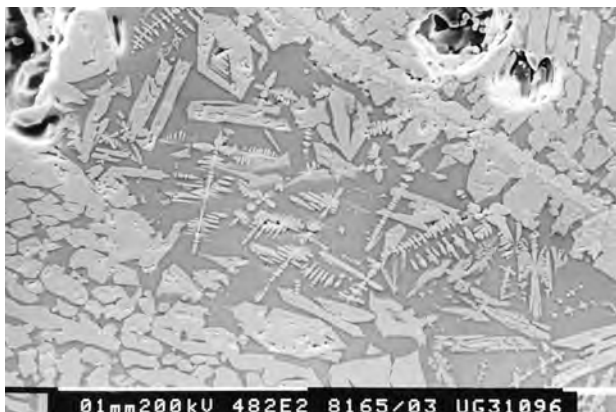


Fig. 7. Udsnitsforstørrelse af fig. 6. Formentlig er slaggelaget i øveste højre hjørne det først størknede lag, mens det øvrige er ny, varm slagge, hvor fayalitkrystaller er blevet kimdannet på den allerede størknede overflade.

og F96 B i tabel C 4, samt F96-2 med tre umagnetiske perler, samt fig.8-12.

d) En stor 9×8 mm næsten kugleformet perle på 0,7g. Umagnetisk. Præparat 84-5-1 i tabel C4, og fig.13.

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	BaO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	30,05	48,23	1,56	-	4,31	6,71	5,36	1,52	1,66	0,28	0	0,32	100
2	29,80	57,41	0,49	-	0,79	1,58	7,20	2,15	0,13	0,25	0	0,20	100
3	23,83	59,27	7,10	-	0	0,13	8,44	0,09	0	0,88	0	0,26	100
4	38,26	45,11	4,36	-	3,08	2,30	3,24	0,55	0,99	0,76	0,27	1,08	100
5	45,03	35,44	2,63	-	0,53	1,89	10,06	3,17	0,59	0,41	0	0,25	100
6	47,82	35,03	0,74	-	0,15	4,16	8,09	2,58	1,08	0,35	0	0	100
7	21,18	67,10	4,57	0,30	1,50	2,29	1,85	0,60	0,36	0,07	0	0,18	100
8	62,12	17,57	2,07	-	0,14	4,20	6,06	3,44	1,25	1,53	1,62	0	100
9	64,14	13,07	1,57	-	0	5,95	8,45	3,13	2,82	0,55	0,22	0,10	100

1. F 106, 20,7 g armbrøstbolt, 53 mm lang. Løsfund, skakt 9.
Med hibbingit. Frisket, ej fra Halland
2. F 107 A, 14,3 g søm med firkantet tværsnit. Skakt 9, lager 1. Formentlig fra stedet
3. F 4, 59 g stålstang, 15x13 mm i tværsnit. Løsfund. Fremstillet efter 1850
4. F 73.1, 12 g søm med firkantet tværsnit. Frisket, ej fra Halland
5. F 12, "järnsmälta", stærkt rusten, fragment med slagge- og jernpartier. Løsfund. Formentlig fra stedet
6. F 13, 7,4 g bøjet søm, løsfund. Formentlig fra stedet
7. F 16, 5010 g luppe, løsfund, X 639,71, Y 974,97. Rusten, med jernkniplinger. Fra stedet
8. F 7, 12 g jernbøjle, løsfund. Frisket, måske fra Småland
9. F 88, 4 g søm. Temmelig korroderet, men kan være ret sent, fra en friskningsproces.

Tabel D. Slagger i jerngenstande fra Ugglehult. Middelværdier. SEM-EDAX analyser i vægtprocent.

e) Skakt 8 Stick 2, såkaldt fældeslagge, X 170-Y 19. Ni rustne, meget variable fragmenter på 2-5 cm i tværsnit, samlet vægt 130 g. Alle er umagnetiske, men i vekslende omfang. Præparat GM i tabel C 4.

Undersøgelsen viser nu for det første, at magnetismen i materialet kan have mange årsager. Den kan skyldes i) tilstedeværelsen af små jernpartikler uden kulstof, 10-25 µm i wüstit – fayalit slaggerne, (fig. 4) ii) små råjernskugler med 4% kulstof, 10-50 µm i tværsnit i glasslaggerne, (fig. 13) iii) magnetit skeletkrystaller, 1- 10 µm, i overfladen af visse slagger, der er blevet eksponeret for luften ved høj temperatur,

(fig. 17) eller iv) magnetit/maghemit, der er blevet dannet ved ristningen af myremalm. Magnetismen alene er derfor ikke nogen større hjælp ved klassificeringen af materialet. Men koblet med den mikroskopiske undersøgelse giver den dog vigtige oplysninger.

Kategori a) består af normale slagger med en gennemsnitsanalyse, som er magen til de store slaggers. Disse slagger er små, dels fordi de er brudstykker af store slagger (hjørner, bristede blærer, itutrådte plader osv.), dels fordi de oprindeligt kan være størknet som små knuder, tappe, protuberanser osv siddende

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	BaO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	27,23	60,63	0,22	0	0,10	0,97	8,44	1,73	0,20	0,30	0	0,18	100
2	27,38	61,44	0,26	0	0,05	0,98	7,47	1,70	0,20	0,34	0	0,18	100
3	26,94	51,45	0,57	0	2,61	4,71	10,46	2,47	0,56	0,23	0,05	-	100
4	23,30	57,41	3,23	0,11	1,93	1,86	9,18	2,20	0,40	0,11	0	0,27	100
5	27,78	59,41	0,57	0	0,37	3,28	5,68	1,76	0,63	0,10	0	0,52	100
6	25,47	62,62	0,87	0	0,25	2,84	5,23	1,71	0,48	0,10	0	0,53	100
7	25,54	64,53	0,56	0	0,30	1,58	5,57	1,38	0,44	-	-	0,10	100
8	28,99	51,91	3,10	0,41	0,78	1,76	10,57	2,20	0,08	0,20	0,05	-	100

1. Leregård, Halland. Nr.18-1 på 15 g. Ca.300 f.Kr.
2. Leregård, Halland. Nr.18-2 på 3 g. Ca.300 f.Kr.
3. Lehult, Skåne. 1185 g tæt slagge. Ca.1200 AD.
4. Vittsjö, Skåne. "Gustaf Adolfs ovn". 1452 g slagge. Ca.1400 AD.
5. Tranemo, Vester Götland. Nr.3. 80 g tapslagge. Ca.1100 AD.
6. Tranemo, Vester Götland. Nr.4. 90 g tapslagge. Ca.1100 AD.
7. Örsås, Vester Götland. Nr.27-1. 1386 g slagge. Ca.1100 AD.
8. Karlslunda, Småland. 466 g slagge. 300-1200 AD.

Table E. Produktionslagger fra tidlige blæstervne uden vandkraft.

på overfladen af større slagger. De er en naturlig del af miljøet omkring jernudvindingspladsen i Ugglehult. Ganske lignende slagger er fundet på danske jernudvindingspladser fra oldtiden, og de synes ikke at have noget at gøre med vandmølledrevne hamre.

Kategori b) består af mange forskellige typer. Nævnt efter hyppigheder er der Minislagger med 20-30% SiO₂, ofte med trækulssplinter – Myremalms fragmenter – Sand-grus aggregater kittet sammen af rust – Glaskugler med 55-67% SiO₂ med mange gasporer og med mikroskopiske kugler af udskilt råjern (4% C) – Splinter af glasslagge kuglerne – og endelig nogle få gnejsfragmenter. Slaggerne er ganske små, de glasagtige med 55-67% SiO₂ har været udsat for kraftig reduktion ved høj temperatur. Ved den

første manipulering af en luppe, der tages ud af blæstervnen, må man klemme, presse og hamre forsigtigt for at konsolidere den uregelmæssige jernslagge-svamp. Det er min erfaring, at dette arbejde medfører et betydeligt tab af små jernslagge fragmenter, som samler sig om fældestenen. Det fører til de mange minislagger.

Tilstedeværelsen af ristet myremalm som små fragmenter i b-kategorien tyder stærkt på, at man på stedet har haft blæstervnsaktivitet med udvinding af jern fra fast myremalm – ikke rødjord – for øje. Den ristede myremalm viser, at der et eller andet sted i nærheden har fundet ristning sted, selv om de arkæologiske undersøgelser ikke har kunnet påvise riste-anlæggene. Tilstedeværelsen af myremalm harmo-

Mrk.	SiO ₂	FeO	MnO	BaO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SO ₃	Sum
1	30,66	40,54	7,22	0,11	1,75	3,08	11,44	3,24	0,83	0,53	0,18	0,42	100
2	30,77	48,65	1,27	-	1,01	2,99	12,00	2,29	0,50	0,33	-	0,19	100
3	37,02	37,77	5,48	0,30	0,46	2,20	12,67	3,36	0,41	0,53	-	0,10	100
4	31,61	41,81	9,48	0,63	0,63	2,78	9,91	2,59	0,40	-	-	0,16	100
5	34,63	33,82	3,58	-	1,14	4,48	17,45	3,76	0,70	0,28	-	0,16	100
6	36,90	40,75	3,66	0,42	0,34	2,03	12,40	2,74	0,16	0,43	0,17	-	100
7	35,14	37,72	2,64	-	1,43	2,75	15,56	3,95	0,05	0,64	0,12	-	100
8	40,01	33,97	7,23	-	0,38	1,92	12,39	2,65	0,52	0,53	0,23	0,17	100

1. Bölinge, Halland. 3 kg klump fra 12 kg klode. XII-1 B-4. 1200-1500 AD.
2. Hishult, Halland. 296 g fragment af bottenskålla. Nr.22-1. 1400-1500 AD.
3. Stenså, Halland. 1 kg fragment. Mrk.T. 1200-1500 AD.
4. Stenså, Halland. 2,2 kg fragment. Mrk.B. 1200-1500 AD.
5. Brunkestorp, Skåne. 750 g fragment. Ca.1500 AD.
6. Hörja, Skåne. 350 g fragment. 1400-1500 AD.
7. Hörja, Skåne. 450 g fragment. 1400-1500 AD.
8. Hörja, Skåne. 50 g fragment med glasagtigt parti. 1400-1500 AD.

Tabel F. Produktionslagger fra blæsteroevne forsynet med vandmølledeevne blæsebølge.

nerer i øvrigt ikke med en hypotese om, at Ugglehult ovnene skulle være stedet, hvor lupperne fra Jernvirke ovnene blev viderebehandlet. Ugglehultslagernes relativt høje indhold af MnO udelukker også, at de kan være fremgået ved viderebehandling/rensning af de manganfattige Jernvirke-slagger.

Kategori c), de kugleformede perler, er et separat, hvor formen har tiltrukket sig udgravernes opmærksomhed. Lignende kugler forekommer også i kategori a) med 1-2%. Deres sammensætning, F96 A og F96 B i tabel C4, samt yderligere ikke anførte analyser, er den samme som de store slaggers, og de udviser samme variationsbredde, (fig. 8). Mikrostrukturen er imidlertid usædvanlig finkornet, og dette samt andre detaljer viser, at de er størknet meget

hurtigt i fri luft. Det mest sandsynlige er, at disse små kugler repræsenterer den overskudsslagge, som presses ud af den varme luppe ved dennes klemning og konsolidering til en klode. De kugleformede slagger har en helt anden sammensætning end hammerskæl.

Kategori d) er en stor kugleformet glasperle med en sammensætning, som minder om ovnmateriale i tabel A. Dette antyder, at glaskuglen kan være dannet ved opsmeltning af ovn- eller foringsmateriale af ler.

Kategori e) er en gruppe med meget varierende udseende, fra flad, tæt tapslagge over hule slaggeskaller til højporøse, svampede aggregater, der yderligere er stærkt omdannede ved korrosion. Alle er slagger eller slaggefragmenter, og det må antages, at



Fig. 8. F 96 Makrofoto af ca. 50 »kugle«-formede perler. Seks af disse er blevet undersøgt.

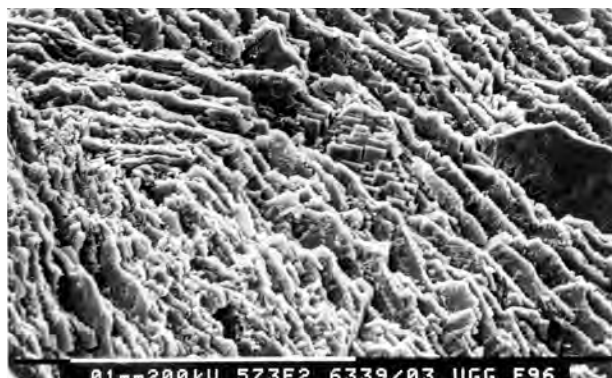


Fig. 10. F 96, perle B, randzonen. De primære fayalitblade står frit, fordi restsmelten er blevet suget bort.

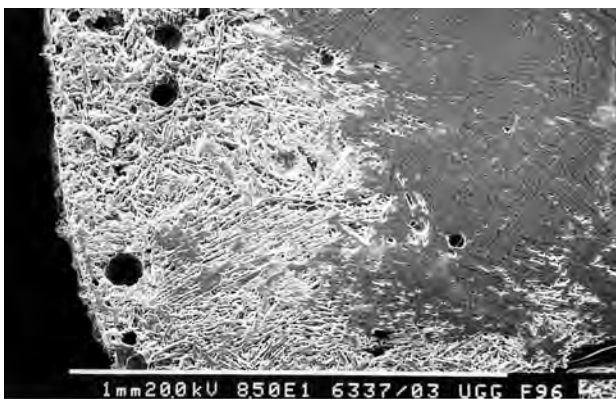


Fig. 9. F 96, perle A. Fillet, porøs randzone omkring en massiv kerne. Under den hurtige størkning danner de primære wüstit- og fayalitkrystaller en fillet randzone, mens restsmelten suges ind i kernen.

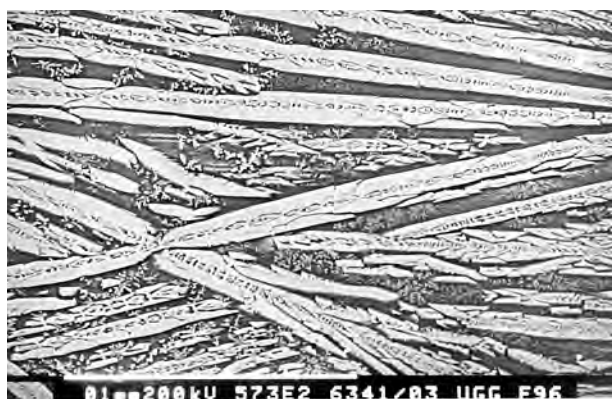


Fig. 11. F 96, perle B, kernen. De primære fayalitblade er omgivet af restsmelte, der har udskilt små, sekundære wüstit- og fayalitkrystaller. Samme perle og forstørrelse som fig. 10.

de er dannet i forbindelse med lupperensning. En lignende variation i slaggeaffald er fundet på jernproduktionspladser fra dansk oldtid. De kan ikke tages som et indicium for, at der kan have stået en hammermølle på stedet.

10. Jerngenstandene, tabel D.

Med metaldetektor blev der fundet en del jerngenstande i Ugglehult området. Heraf har jeg haft lejlighed til at undersøge 12. Desværre var tre søm, F 92 A og B og F 107 B så omdannede til rust, at en analyse

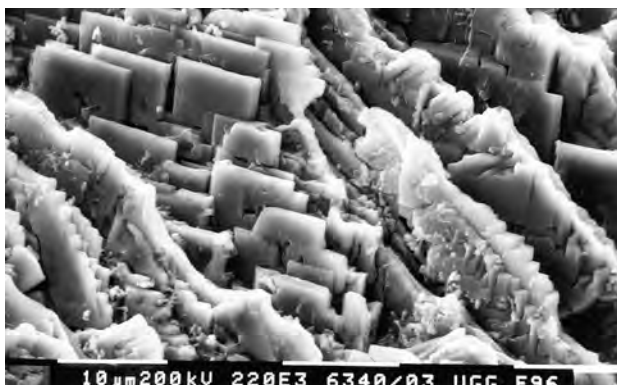


Fig. 12. F 96, perle B, randzonen. Udsnitsforstørrelse af fig. 10. Primære fayalitkrystaller uden matrix, som er suget væk.

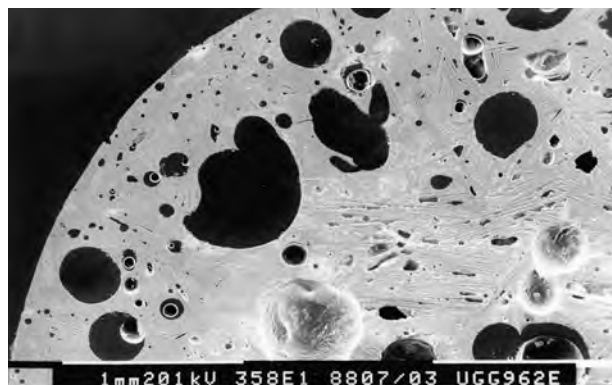


Fig. 14. F96-2E. Umagnetisk, kugleformet perle, 5 mm i diameter. Huller (sorte) og fayalit-glasblanding.

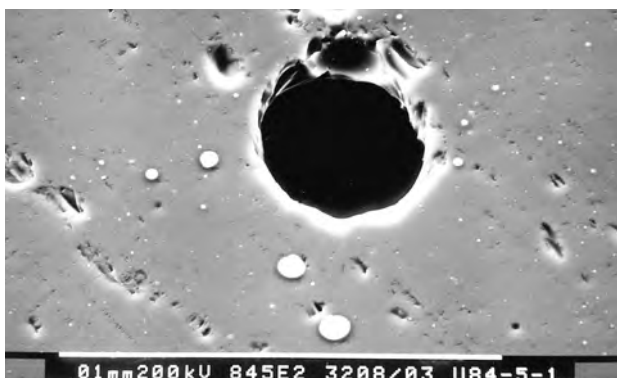


Fig. 13. F 84-5-1. 7 mm kugle, der består af glas, se analysen i tabel C2. Huller i glasset (sorte) og fine råjernskugler (hvide).

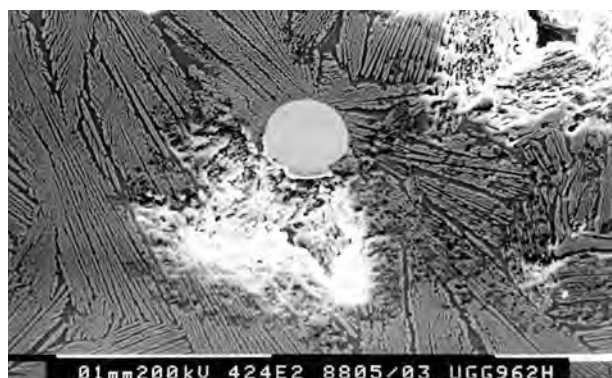


Fig. 15. F96-2H. Umagnetisk, kugleformet perle, 8 mm i diameter. Fayalit-fjer i glas. Den lille råjernskugle i centrum er ikke nok til at gøre slaggen magnetisk udadtil.

ikke kunne gennemføres. Tilbage bliver ni, tabel D, alle løsfund uden arkæologisk sammenhæng. I Jernvirke og Jernmølle er der ikke fundet nogen jerngenstande.

Fund 84: F 12 kan karakteriseres som en »jærnsmlta«, et brudstykke af en luppe, halvt af jern og

halvt af slagge. Slaggeanalysen tyder på, at vi her har at gøre med et typisk produkt fra Ugglehult ovnene.

Fund 84: F 107 A er et søm med firkantet tværsnit, som er 40 mm langt og nu vejer 14,3 g. Jernfasens ferrit-perlit struktur tyder på ca. 0,15% C, og slaggeinklusionernes analyse passer godt med Ugglehult



Fig. 16. Jernmølle 48-64C, 12 g fragment. Fine, orienterede wüstitedendritter i glas. Iøvrigt fayalit i forskellige former.

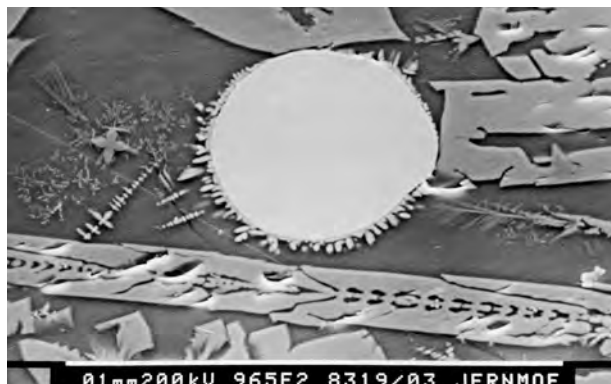


Fig. 18. Jernmølle 48-64C, 12 g fragment. En central jernkugle, hvorpå der er kimdannet fin wüstit. Iøvrigt 50 % fayalitbjælker og 50 % glasfase med skeletkrystaller.

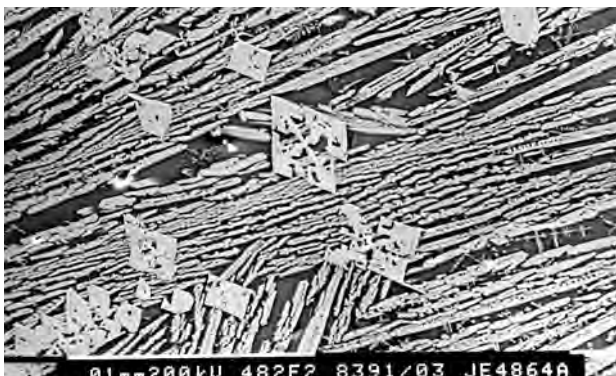


Fig. 17. Jernmølle 48-64A, 48 g fragment. Den aluminiumrige slagge har ført til udskillelse af Al_2O_3 -rige jernoxid krystaller, »Malteserkors«. Iøvrigt fine fayalitbjælker i glas.

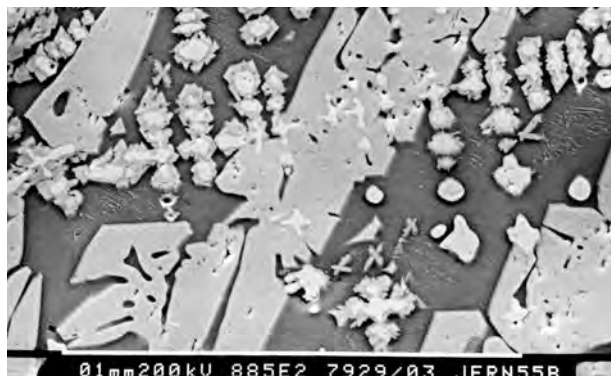


Fig. 19. Jernmølle 48-55B, 25 g fragment. De først udskilte wüstitedendritter har virket som kim for fayalitudskillelsen. Iøvrigt massive fayalitbjælker og glasfase.

slagge. Så sømmet er sikkert lavet her (eller et andet sted på tilsvarende måde af tilsvarende malm).

Fund 84: F 13 er et bøjet søm med firkantet tværsnit, der måler 48×4×4 mm og vejer 7,4 g. Det er let at save med nedstrygeren og har efter ferrit-perlit

forholdet at dømme 0,15-0,20% C. Slaggeinklusionernes sammensætning stemmer godt med at sømmet er fremstillet i Ugglehult.

Fund 84: F 73.1 er et søm med firkantet tværsnit, som er 56 mm langt og nu vejer 12 g. Slaggeinklusionerne viser, at det er fremmed for Ugglehult:

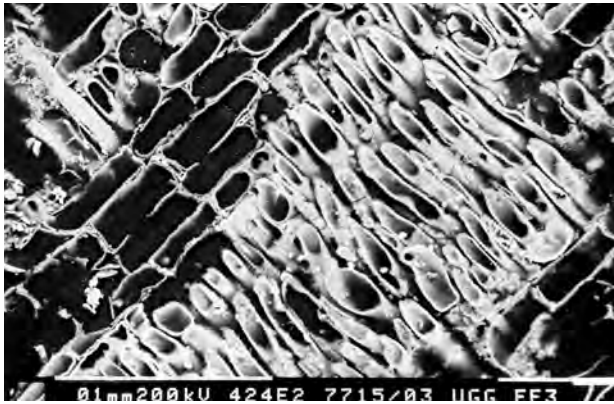


Fig. 20. Ugglehult FF3, 5 g fragment, hvori der var fossile trækulrester. På basis af dette billede bestemtes træsorten til at være rødgran, *Picea abies*.



Fig. 21. Samme fragment. Slagge, som er størket »dynamisk«, dvs under presning og klemning af den rødglødende luppe. Dette har medført polykrystallinitet og åbne korngrænser. Koralførmert jern i 50:50 fayalit-glas blanding.

MgO/ K₂O forholdet, som er større end en, det lave Al₂O₃-indhold og det høje P₂O₅-indhold peger på, at sømmet er fremstillet af frisket jern, altså via en højovnsproces, som er helt fremmed for Halland.

Fund 84: F 106 er en armbrøstbolt med rhombeformet tværsnit. Den er 68 mm lang og vejer nu 20,7 g. Slaggeanalysen er fremmed for Ugglehult, og emnet kan af samme grunde som lige nævnt fortolkes som et produkt af højovn plus friskning.

Fund 84: F 4 er en meget regelmæssig stålstang (ca.0,7% C), der måler 55×13×12 mm og vejer 59 g. Slaggeinklusionerne er meget få, og de, der er, peger på et relativt moderne materiale, måske fremstillet ved en Bessemer proces med mangantilsætning. Dette har ført til udskillelse af mangansulfider. Stangen er på grund af sit perlitindhold, der lokalt endog havde korngrænsecementit, svær at save med en nedstryger (HSS-savklinge). Stålstangen synes at være mindre end 150 år gammel.

Fund 84: F 88 er et søm på fire gram, der er stærkt korroderet. Hvad der er tilbage kan dog tyde på, at sømmet er fremstillet i en friskningsproces uden for Halland.

Fund 84: F 7 er en jernbøjle, der måler 40×10×3 mm og vejer 12 g. Bøjlen hører ikke til Ugglehult miljøet. Karakteristisk er slaggens store titan- og vanadinindhold, som kunne pege mod et frisket jern fremstillet af Tabergs Ti- og V-rige magnetitmalme efter 1600 AD, f.eks. i hammersmedjerne i Nissafors, Småland.

Fund 84: F 16 er en stor, rustbrun, halvcylindrisk slaggeblok på 5 kg (X 639,71, Y 974,97). Et tværsnit viser, at der er både jernrige partier, slaggerige partier og store huller, så det drejer sig sandsynligvis om en luppe. Slaggens sammensætning er dog ejendommelig og ikke let at forklare. Måske repræsenterer klumpen en eller anden form for mislykket ovnproces?



Fig. 22. Jernvirke 61, 278 g myremalmsfragment fra den korsformede udgravning. Amorf jernoxidhydrat masse, hvori der ligger 5-6 kvartskorn (mørke), samt centralt et 100 μm zirkonkorn, ZrSiO_4 (hvidt). Zirkonindholdet giver sig dog ikke til kende i middelanalyse, tabel B, linie 6,

Generelt kan det være vanskeligt i jerngenstandene at finde slaggeinklusioner, der egner sig til analyse. For det første er der ofte ret få slagger, for det andet kan de være ganske små (de bør være mindst $20 \times 10 \mu\text{m}$), for det tredje kan de være for rige på wüstit, og endelig kan korrosionsangreb have gjort slaggerne ubrugelige. Intet af det her undersøgte materiale var konserveret ved glødemetoden, hvilket var en fordel.

I fund 84: F 106, armbrøstbolt, identificeredes flere lommer på ca. 0,1 mm i diameter af det nyligt opdagede korrosionsmineral hibbingit, $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ (Buchwald 1989; Saini-Eidukat 1994). Det er ret uanseligt og overses let eller forveksles med slagger eller andre korrosionsminerale som goethit og akaganait. Imidlertid synes det at være ret almindeligt, og det kan anses for at være det første trin i jernets nedbrydning. Hibbingit indeholder jern i iltningstrinnet to, alle andre korrosionsprodukter af jern indeholder jern i iltningstrinnet tre.

11. Vedanalyse.

Vedrester og trækulsprøver fra Tvååker-området er blevet undersøgt af magister Claus Malmros, Nationalmuseets Naturvidenskabelige Undersøgelse, København. Tillige er »forstenede« vedindeslutninger i slaggen FF 3 fra Anlæg 5 Skakt 8 Stick 3 blevet fotograferet, (fig. 20).

Slagge FF 3's sammensætning fremgår af tabel C 4 og dens struktur af fig. 21. Vedresterne er mineraliseret og består nu hovedsagelig af jernoxider, der har lavet en atom for atom fossil afstøbning af cellevæggene. Det skrå snit er nærmest et radialsnit gennem et stykke nåletræ, der kan bestemmes som rødgran, *Picea abies*, eller lærk, *Larix sp.* Den sidstnævnte art kan dog udelukkes, da den næppe var naturligt forekommende i Halland i 1200-tallet. Fig. 20 viser dels trakeider med rundt-firkantet tværsnit, dels marvstråler, bestående af flere horisontale rækker af rektangulære parenkymceller. Der ses en årringsgrænse. I vårveddet er cellerne noget større end i høstveddet. Slaggen omkring trækullet, (fig. 21), indeholder »koral-øer« af nydannet jern, det første stadium af jernudvindingsprocessen, på vej til luppetilstanden.

Af de trækulsprøver, som blev indsamlet under de arkæologiske udgravninger, udtog Bo Strömberg en halv snes poser med fragmenter, og disse er blevet undersøgt af C. Malmros og Buchwald med følgende resultater:

Ugglehult RAÄ 84.

95:KP6, Anlæg 19, smedeherd, 3 g trækul. Det største fragment er bøg (*Fagus silvatica*), desuden nogle stykker af eg (*Quercus sp.*).

95:KP 7, Anlæg 15, smedeherd, 3 g trækul. Det største stykke er eg, det øvrige er fragmenter af samme stykke trækul.

95:KP 13, Anlæg 22, stolpehul, 11 g trækul. Det største stykke er bøg, de øvrige fragmenter er bøg samt lidt eg.

95:KP 15, Anlæg 28, sten fod, hjørne af hus, 82 g trækul. Det største fragment er bøg, men der er også noget eg. Af trækullet er der udtaget materiale til C-14 bestemmelse.

95:KP 16, Anlæg 23, ved fældestenen, 150 g trækul. Det største fragment er eg, og det øvrige indeholder både eg og bøg. Af trækullet er der udtaget prøver med henblik på C-14 bestemmelse.

Norra Järnvirke, RAÄ 189

95:KP 1, Skakt 4, nedre slaggelag, 15 g trækul. Det største fragment er birk (*Betula* sp.). Det øvrige materiale består af birk, bøg og eg.

95:KP 4, Skakt 3, kulhorisont mellem slaggerne, 13 g trækul. Det største stykke er el (*Alnus* sp.). Resten synes at være mindre fragmenter af el.

95:KP 6, Skakt 5, øvre slaggelag, 12 g trækul. Det største stykke er el, det øvrige er mindre fragmenter af el.

Södra Järnvirke, RAÄ 85

95:KP 1, Skakt 1, udenfor ovn 1, 65 g trækul. Det største stykke er lind (*Tilia* sp.). Resten er en blanding af lind og eg.

95:KP 3, Skakt 1, udenfor ovn 1, 60 g trækul. Det største stykke er lind. Resten er en blanding af lind og eg.

De ti undersøgte poser indeholdt således trækul af overraskende mange træarter, eg, bøg, birk, lind og el, hvortil kommer gran fra slaggepræparatet. Undersøgelsen viser dels sammensætningen af den middelalderlige blandingsskov, dels at man tilsyneladende ikke har været kræsen. Man har simpelthen

brugt det træ, som fandtes i nærheden, hvad enten det var hårdt og drøjt eller blødt og letfortæret. De to ovne, RAÄ 85, hvori man åbenbart især anvendte lind, ligger i dag midt i en større klynge bøgetræer, ligesom skoven omkring Ugglehult i dag domineres af bøgetræer. Øjensynligt er der sket en betydelig forskydning i skovens sammensætning siden middelalderen.

Det er vanskeligt at bestemme størrelsen af de træstykker, der har været anvendt, men det kan antages, således som Voss (1993) har påvist, at man har stævet skoven og hugget de træer, der har nået en tykkelse på 5 -11 cm, for anvendelse i trækulsmilerne, blæstervovnene og smedeherderne.

12. Udbytteberegninger.

Det er nok ganske hasarderet på det foreliggende grundlag at foretage udbytteberegninger. Alligevel skal der her gøres et forsøg, der i hvert fald kan vise problematikken og tendenserne. Vi vil undersøge to situationer, der på basis af samme malm fører til henholdsvis blødt smedejern (Jernvirke) og svagt opkullet jern (Ugglehult). De to situationer er vist i fig. 3, hvor malmen M fører til slaggerne J og U, der svarer til de to nævnte jernkvaliteter. H repræsenterer en situation, hvor reduktionen – i en højovn (masugn) – er ført helt igennem til råjern (tackjärn), som man kan møde det i f.eks. Huseby og Lesebo i Småland. Det var aldrig aktuelt i Halland.

Lad os gå ud fra en realistisk malm-analyse, baseret på materialet i tabel B, men noget mere forurennet af SiO₂. Lad os tage 100 kg af denne malm, hvori forholdene mellem calcium, aluminium etc. er vel bestemte. Tab af vand og karbonater ved ristning og brænding kan vi ikke redegøre for, men det skulle ikke betyde noget for beregningen, så længe de in-

dre forhold Fe/Mn, Al/Ca osv. ikke påvirkes.

100 kg ristet malm antages at indeholde:
71,9 kg Fe₂O₃ (eller 64,71 kg FeO, eller 50,33 kg Fe)
19,0 kg SiO₂
6,6 kg Al₂O₃
2,5 kg andre oxider.

Jernvirke eksempel

Vi finder i Jernvirke slagger, hvis middelanalyse er bestemt i tabel C 1:

60,0 % FeO
24,7% SiO₂
8,5% Al₂O₃
6,8% andre oxider.

Vi antager, at intet optages af ovnvæggene ved reaktionerne i ovnen, og at kun ilt (oxygen) forflygtiges som CO og CO₂. Vi accepterer, at der tilføres en del, især CaO og K₂O, fra træets aske. Asken udgør 2-3 kg pr. 100 kg malm og 100 kg trækul. Vi antager, at Al₂O₃ og SiO₂ kun kommer fra malmen og i deres helhed kan genfindes i slaggen, således at vi kan bruge disse to som intern målestok. Malmens (19,0 + 6,6 + 2,5) kg suppleres således med 2,5 kg aske fra trækullene. Disse ialt 30,6 kg oxider udgør ifølge slaggeanalysen (24,7 + 8,5 + 6,8) % = 40,0% af slaggen. Den øvrige del af slaggen, 60%, er da FeO, eller 45,9 kg. Den oprindelige malm indeholdt 71,9 kg Fe₂O₃ (2 FeO + O), svarende til 64,71 kg FeO. I slaggen genfindes, sammen med ækvivalente mængder SiO₂ og Al₂O₃, 45,90 kg FeO. Derfor er der udvundet jern af den manglende mængde FeO, 64,71 - 45,90 = 18,81 kg, hvilket svarer til 14,63 kg jern i udbytte.

Følgende *balance* viser hvad der er sket med de oprindelige 100 kg malm plus 2,5 kg trækulsaske, ialt 102,5 kg. De 71,9 kg Fe₂O₃ reduceres dels til FeO, dels videre til frit jern, idet der afgives oxygen, der

forsvinder som CO og CO₂.

45,90 kg FeO
7,19 kg O (gas)
14,63 kg Fe (udbytte), volumen ca. 1,9 l
4,18 kg O (gas)
19,00 kg SiO₂
6,60 kg Al₂O₃
2,50 kg andre oxider
2,50 kg andre oxider, fra asken, ialt 102,5 kg.

Man ser, at der pr. 100 kg ristet malm er blevet udvundet 14,6 kg jern, eller ca. 29% af det jern, der var i malmen.

Hvis man genopstiller balancen uden den forsvundne gas og uden det fjernede jernudbytte, vejer slaggen 76,5 kg (og fylder ca. 23 l, hvis vægtfylden er 3,3 g/cm³).

45,90 kg FeO
19,00 kg SiO₂
6,60 kg Al₂O₃
5,00 kg andre oxider.

Derfor kan man også sige, at der pr. 100 kg slaggebunke må være udvundet $14,63 \times 100 / 76,5 = 19,1$ kg jern. At en del af dette jern så kan være gået tabt ved at sidde fint fordelt i slaggen, ved rensning eller ved smedning er en anden sag. Tallene anfører det maksimale udbytte.

Ugglehult eksempel

Middelsammensætningen af udvindingsslaggerne i Ugglehult er ifølge tabel C 2:

48,2 % FeO
32,3 % SiO₂
10,3 % Al₂O₃
9,2 % andre oxider.

Malmens (19,0 + 6,6 + 2,5) kg suppleres med 2,5 kg aske fra trækullene. Disse ialt 30,6 kg oxider ud-

gør ifølge analysen $(32,3 + 10,3 + 9,2) \% = 51,8 \%$. De resterende $48,2 \%$ af slaggen er da FeO, svarende til 28,47 kg FeO. Den oprindelige malm indeholdt 71,9 kg Fe₂O₃ (2 FeO + O), svarende til 64,71 kg FeO. I slaggen genfindes kun 28,47 kg FeO. Derfor er der udvundet jern af den manglende mængde FeO, $64,71 - 28,47 = 36,24$ kg, hvilket svarer til 28,19 kg jern i udbytte.

Balancen ser således ud. Alle 71,9 kg Fe₂O₃ reduceres til FeO, og noget FeO reduceres videre til Fe, idet der frigives ilt:

28,47 kg FeO

7,19 kg O (gas)

28,19 kg jern (udbytte), volumen ca. 3,7 l

8,05 kg O (gas)

19,00 kg SiO₂

6,60 kg Al₂O₃

2,50 kg andre oxider

2,50 kg andre oxider, fra asken, ialt 102,5 kg.

Den samme balance opstillet uden frigivne gasser og udvundet jern ser således ud:

28,47 kg FeO

19,00 kg SiO₂

6,60 kg Al₂O₃

5,00 kg andre oxider, ialt 59,07 kg slagge, volumen ca. 19 l, hvis vægtylde er $3,1 \text{ g/cm}^3$.

Hvis der ved Ugglehult ligger en slaggebunke på 100 kg, svarer det til – med de anførte forudsætninger – at der er blevet udvundet $28,19 \times 100/59,07 = 47,7$ kg jern. Man kan også udtrykke det på den måde, at der pr. 100 kg ristet malm er udvundet 28,19 kg jern, eller $28,19/59,07 = 47,7 \%$ af det mulige.

Det er bemærkelsesværdigt, at den tilsyneladende lille formindskelse i slaggens FeO-indhold fra Jern-

virke til Ugglehult har givet anledning til et væsentligt større jernudbytte, fra 14,6 kg til 28,2 kg pr. 100 kg ristet malm, eller næsten en fordobling!

Der er gjort flere tilnærmelser i disse to eksempler, men de viser i hvert fald på halvkvantitativ måde de meget væsentlige forbedringer, der vil ske med jernudbyttet, efterhånden som man bevæger sig skråt ned ad kurven M J U H i fig. 3.

13. *Sammenfatning*

Slaggernes udseende og analyse tyder på, at produktet i Jernvirke og Ugglehult var det samme, nemlig slaggerige lupper eller kloder, der eksporteredes til videre behandling andetsteds. Tilstedeværelsen af enkelte kalotslagge tyder dog på, at forædling til brugsgenstande eller færdigmanufaktur lejlighedsvis fandt sted. Dette understøttes af fundet af nogle ganske få søm, der sikkert er fremstillet i Ugglehult. De fældeslagge og svagt magnetiske perler og gryn, som er undersøgt, kan meget vel stamme fra luppens færdiggørelse og fra dens supponerede kløvning med økse. Desværre kender vi alt for lidt til detaljerne ved denne proces, og desværre er der ikke ved de arkæologiske undersøgelser dukket klodehalvfabrikata op, der ville kunne belyse disse uvisheder.

Det skal dog antydes, at man på denne tid – i 1100-1200-tallet – formentlig har fremstillet kloder som et produkt til videreforædling andet sted. Således tolker jeg bunken af 64 jernstykker i Bölinge, Våxtorp sogn, Halland, som kan være fremstillet i Hishult sogn eller andet steds langs Stensåen (Buchwald 1994 b).

Handelsvejen fra Ugglehult kan være gået ned mod kysten med henblik på forsendelse af lupper og kloder til Sjælland og Jylland eller til kystbyer i de danske landskaber Halland og Skåne. Her er de for-

mentlig blevet oparbejdet til teintjern (fingertykke stænger) og manufaktur. Egentligt stangjern hører en langt senere tid til, de er et produkt af højovne og friskningsmedning fra omkring 1500 og fremefter.

Slaggernes kemiske sammensætning (Al, Ca, Mn, P etc.) er kkommensurabel med malmens sammensætning, idet de væsentligste forskydninger skyldes de salte (især CaO, K₂O og P₂O₅), der er blevet tilført ved reaktionen med asken efter træ og trækul. Derimod er det ikke nødvendigt at regne med opblanding fra ovenvæggene.

Slaggeanalyserne og malmanalyserne spreder for meget til, at man kan konkludere noget bestemt om de anvendte malme. Identifikationen af knust, ristet myremalm og af den store klump af myremalm på Ugglehult-pladsen peger nærmest i retning af brugen af fast myremalm, og denne har undertiden været manganrig. Sommetider har man endda fået fat i meget manganrige malme, som Ugglehult-slaggerne 34 A og 35 (tabel C2) viser. Men det er der ikke noget mærkeligt i, da det vides, at der på samme lokalitet kan forekomme manganvariationer på i hvert fald en faktor syv (Buchwald 1998). Mangan er derfor ikke særlig velegnet til en diskussion af proveniens.

Det er karakteristisk, at slaggerne har høje Al₂O₃ og K₂O-indhold, men lave P₂O₅-indhold. Forholdet SiO₂/Al₂O₃ er for Jernvirke 2,9, for Ugglehult 3,1, men for Espevej (Sjælland) 8 og for Hedegård (Jylland) 10. Forholdet CaO/P₂O₅ er for Jernvirke 4,2, for Ugglehult 5,2, men for Espevej 1,1 og for Hedegård 0,22. Sådanne forhold er nyttige, når det gælder proveniensbestemmelse, ligesom andre elementer kan inddrages. Det kan således nævnes, at titan ligger lavt i dansk materiale, ligesom middelindholdet af vanadin og krom i slaggerne ligger under min

detektionsgrænse i dansk materiale, men forekommer i vekslende omfang i det hallandske.

14. Jernet, trækullet og skoven

Vi vil forsøge at danne os et indtryk af miljøpåvirkningen, mens jernudvindingen stod på i Tvååker-området. Der er mange usikkerheder, og vi bliver nødt til at gøre en del antagelser for at nå til nogle foreløbige resultater.

Lad os først se på RAÄ 85, den relativt lille, giffelformede slaggebunke, der omgiver de to små, lerbyggede tvillingovne i Jernvirke. Slaggebunkens volumen kan beregnes til 10,6 m³ (Strömberg, denne publikation). Vægtfylden bestemt på diverse slaggeklumper af 100-700 g vægt var 3,0-3,6 g/cm³, eller i middel 3,3 g/cm³. Pakningsgraden i slaggebunken skønnes til 55 % slaggeklumper og 45% hulrum plus jord. Den 10,6 m³ store slaggedyngge svarer da til 5,8 m³ fast slagge. Med en middelvægtfylde på 3,3 t/m³, bliver slaggenes totale vægt 19,1 t. Hertil har bønderne nedsmeltet 25,0 t ristet malm, jvf. balancen i forrige afsnit.

Jernudbyttet var som anført 19,1 kg pr. 100 kg slaggebunke, ergo har man ialt opnået 3,65 t jern (maximum, inklusive hvad der sidder fint fordelt i slaggen og som vil gå tabt). Trækulsforbruget kan ifølge egne eksperimenter anslås at have været ca. 7 kg pr. kilo luppejern, eller ialt omkring 25 t.

Hvis vi antager, at kulsvierne kun har taget af skovens normale tilvækst ved udtynding (Coppicing), og at de har fremstillet trækullene i kulgruber, hvoraf enkelte er fundet i forbindelse med nærværende projekt, så får vi brug for at kende skovens tilvækst. Den har sikkert været 2 eller 3 gange mindre i middelalderen end i dag, hvorfor vi forsøgsvis ansætter den til 3 m³ pr. ha og pr. år (Fritzbøger 1994, s.

226). De tre m³ fast vedmasse svarer til 2,25 t tørt bøgetræ (vægtfylde 0,75), der ved milebrænding kan blive til ca. 500 kg trækul.

Per hektar skulle vi da kunne fremstille 500 kg trækul om året uden at forringe skoven. Til fremstilling af 25 t trækul var der brug for tilvæksten fra ca. 50 ha. Vi kender imidlertid ikke tidshorizonten for slaggebunkens opståen. Hvis ovenanlægget var i brug i fem år var behovet kun træ fra 10 ha pr. år, og hvis anlægget var i brug i 25 år tilsvarende kun hugst og udtynding af ca. 2 ha om året.

Omkring anlægget ved Ugglehult, RAÅ 84, med vandmølle-drevne blæsebælge ligger der en betydeligt større slaggebunke, der kan anslås til 120 m³ (Strömberg, denne publikation). Vægtfylden af 100-1000 g store slaggeklumper bestemtes til 2,8-3,4 g/cm³, eller i middel 3,1 g/cm³. Med samme pakningsgrad som ovenfor, 55 %, får vi et fast slagge-volumen på 66 m³, der med 3,1 t/m³ svarer til ca. 205 t slagge. Hertil nedsmeltede bønderne 347 t ristet myremalm, og udbyttet var 97,8 t luppejern.

Det er uklart hvor meget trækul, der gik til i denne vandhjuls-drevne proces, men her antages det, at der tilsattes lige vægtdele malm og trækul på ovnen. Altså brugtes der 347 t trækul til fremstilling af 97,8 t luppejern, eller ca. 3,5 kg trækul pr.kg jern.

Hvis vi som før antager at man klarede sig ved kun at bruge af skovens normale tilvækst på 3 m³ pr.ha og år, og derved opnåede 500 kg trækul, så får vi at behovet var en udtynding af 347 000/ 500 = 694 ha. Hvis anlægget var i operation i 25 år, behøvede man at udtynde de samme 28 ha år efter år, og hvis det var i drift i 50 år har man kunnet nøjes med at hente trækullet fra omkring 14 ha.

På Ugglehult anlægget, RAÅ 84, kan bønderne således hvis man anlægger synspunktet 50 års levetid, i gennemsnit have produceret ca. 2 ton luppejern om året under udtynding af 14 ha af den omkringliggende skov. De 2 t jern kan være blevet leveret i form af 200 kloder á 10 kg, der fragtedes ned mod kysten (i pram?) for videre forsendelse.

I ovenstående regnestykker er der gjort mange antagelser og tilnærmelser. Jeg har forsøgt at være realistisk og har sammenlignet med moderne forsøg med små, eksperimentelle blæsterovne. En væsentlig usikkerhed ligger i vurderingen af den naturlige tilvækst i den hallandske skov. Tvååker befinder sig i den nordøstlige udkant af bøgens udbredelsesområde, og vi ved kun lidt om dens tilvækstmønster i middelalderen. En anden usikkerhed ligger i at vi ikke med sikkerhed ved om ovnene hele tiden blev drevet med trækul. Træ kan udmærket være blevet brugt i begyndelsen af hver ovnrejse. Og iøvrigt findes der meget lidt information om kulforbruget i de vandmølle-drevne blæsterovne. Endelig må man erindre, at skoven også måtte levere det træ, der skulle bruges ved saltsydningen nede ved kysten, som er omtalt i Absalons donationsbrev, ligesom der var behov til almindelig opvarmning og husholdningsbrug.

Aktiviteterne omkring Ugglehult har derfor betydet et ikke ubetydeligt indgreb i skovens tilstand, og det kan have været medvirkende til at der opstod splid mellem bønderne og Sorø Kloster om rettighederne til skoven. Datidens diskussion har uden tvivl drejet sig om anvendelse til tømmer for klostret versus trækul for bønderne, hvorimod der er intet, der tyder på at klostret har haft interesse i jernudvinding. Iøvrigt forekommer det som om at skoven ikke kan have lidt nævneværdig skade ved

jernaktiviteterne, så nedlæggelsen af disse sent i 1200-tallet kan næppe have været forårsaget af mangel på brændsel.

15. Konklusioner

Slaggerne fra Jernvirke, RAÄ 85, repræsenterer det stadium af den almindelige, direkte jernudvinding, hvor man – som man havde gjort lige fra oldtiden – anvendte vindkraften eller håndbetjente blæsebælge. Slaggerne ligner udvindingsslagge fra f.eks. Tranemo og Snorup, lokaliteter uden vandkraft. Ovnene var små og lerbyggede, og malmen var ristet, fast myremalm. Slaggerne er jernoxidrige og har lav viskositet, så de størkner med få gaslommer. Deres vægtfylde bliver af disse to grunde påfaldende høj.

Det kan forsigtigt anslås, at der pr. 100 kg slaggebunke er blevet udvundet 19,1 kg jern (eller sagt på en anden måde, at der pr. 100 kg ristet myremalm er blevet udvundet 14,6 kg jern). Jernet var fosforfrit (<0,05 %P), men det har indeholdt 0,05-0,1 % kulstof, og det har været et meget udmærket smedejern.

Slaggerne fra Ugglehult, RAÄ 84, repræsenterer det mere fremskredne stadium af den almindelige, direkte jernudvinding, hvor man har inddraget vandmøllen til at drive en eller to blæsebælge. Slaggerne ligner udvindingsslagge fra andre lokaliteter med vandkraft som Hörja, Skåne, og Stenså, Hal-land. Ovnene har sandsynligvis været stenbyggede og forede med ler. Hovedparten af de undersøgte slagge er tapslagge. De meget store slaggebunker og et væsentligt indslag af ristet myremalm på gulvfladen omkring jernovnene røber, at hovedformålet har været en primær jernudvinding ud fra myremalm.

De små slagge synes især at være fældeslagge, den type fragmenter, der falder af, når den varme luppe klemmes og konsolideres til et tættere produkt. Ligeledes må perlerne tolkes som normal udvindingslagge, men af den slags, der i smeltet tilstand er blevet presset ud under luppens beskedne tildannelse, dvs konsolidering ved hamring for at fjerne slagge og give facon og tæthed.

Ugglehult-slaggerne har alle et lavere FeO-indhold end Jernvirkes, og deres sammensætning spreder ikke så meget. Dette skyldes den kraftigere blæst, der fører reduktionen længere, samt den kontrollerbare arbejdsgang, hvor man kunne støtte sig til vandhulets jævne gang. Slaggerne har højere viskositet, og gassen har haft sværere ved at undslippe, så vægtfylden er noget mindre end Jernvirkes. Det kan anslås, at der for hver 100 kg efterladt slagge er blevet fremstillet ca. 48 kg jern (eller sagt på en anden måde, af 100 kg ristet myremalm er der blevet udvundet 28,2 kg jern). For samme malmtypen er udbyttet blevet næsten fordoblet i forhold til Jernvirke. Jernet fra Ugglehult var fosforfrit, men indeholdt noget mere kulstof, 0,1-0,2 %, hvilket man sikkert har opfattet som et noget hårdere smedejern.

Kalotslaggerne i Ugglehult, hvoraf tre er blevet analyseret, er lidt fattigere på mangan end det øvrige materiale. I strukturen findes de sædvanlige komponenter, wüstit, fayalit og glas, men tillige lidt leucit, som synes at være typisk for rensningsslagge. Kalotslaggerne udgør en ringe del af det totale slaggemateriale, så det må antages, at der kun en gang imellem er sket rensning, sandsynligvis for at fremstille søm og beslag til eget forbrug. Hammerskæl er der blevet søgt efter i alle de prøver, som har foreligget, men aldeles uden resultat.

Udvindingslaggerne har en sammensætning, som ikke kan forliges med en hypotese om transport af halvfabrikata fra Jernvirke til færdiggørelse ved møllen i Ugglehult. Dys slaggerne peger indirekte bort fra samtidighed. På den ene side kan det tolkes som at Jernvirke anlæggene er noget ældre end Ugglehult møllen, på den anden side kan det ikke udelukkes, at de to virksomheder har fundet sted samtidigt, men i så fald uden at have noget med hinanden at gøre. C-14 dateringerne i denne publikation tyder nærmest på, at Jernvirke-anlæggene har overlevet Ugglehult-anlægget.

Den halve snes vedanalyser, som er foretaget, viser en vis dominans af de hårde træarter eg og bøg, men der forekommer et ikke ubetydeligt indslag af lind, birk, el og gran. Man har tilsyneladende anvendt det træ, der fandtes i området, uden særligt hensyn til om det var hårdt og drøjt i processen, eller om det var blødt og hurtigt fortæredes i ilden. I dag står der især bøgetræer i området, men i middelalderen har skoven åbenbart haft en anden sammensætning.

Slaggerne fra Jernmølle, RAÅ 48, er få, små og slidte. Det kunne påvises, at de er identiske med Ugglehult slaggerne. De er af vand og is transporteret et par kilometer ned ad Sandebækken. Ved den nuværende gård Jernmølle er det ikke lykkedes at påvise nogen aktivitet, der har med jernhåndtering at gøre.

Med hensyn til tolkningen af den latinske tekst må man foretrække en oversættelse af frasen »de molendino ubi fabricatur ferrum« til »fra møllen, hvor der fremstilles jern« og ikke »fra møllen, hvor der smedes jern«. Der er intet i slaggematerialet, der tyder på nogen betydelig smedevirksomhed. De meget

store slaggebunker med mere viser, at der er blevet fremstillet jern ud fra myremalm, og at jernet er blevet transporteret bort fra møllen som halvfabrikata, formentlig som de kloder, der kendes fra flere steder i det sydlige Halland.

Litteratur

- Buchwald, V.F. 1989. Mineralogi og reaktionsmodeller ved korrosion af jordfundne jerngenstande. *Dansk Metallurgisk Selskabs Årbog*, s. 42-72.
- Buchwald, V.F. 1994 a. Smedejern, essesvejsning og slaggekaraktarisering. *Dansk Metallurgisk Selskabs Årbog*, s. 131-171.
- Buchwald, V.F. 1994 b. Om proveniensbestemmelse, med særligt henblik på de hallandske kloder, i *Medeltida Danskt Järn* (Redaktør Sven-Olof Olsson), CSK, Högskolan i Halmstad, s. 108-126.
- Buchwald, V.F. 1998. Myremalm. *Geologisk Tidskrift*, hæfte 1: 1-26, København.
- Buchwald, V.F. 2002. Jern og stål i Skandinavien før 1600 AD belyst ved slaggeanalysemetoden. *Dansk Metallurgisk Selskabs Årbog*, s. 165-210.
- Buchwald, V.F. & Wivel, Helle 1998. Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects. *Materials Characterization*, Vol.40: 73-96.
- Busch, J.A.W. 1972. Ironmaking by the bloomery process at Norås, Sweden, in 1851. *Bulletin of the Historical Metallurgy Group* Vol.6, nr.1: 28-33.
- Englund, L.E. 1994. Vikingatida blästbruk i Västsverige. *Från Borås och de sju häraderna*, Vol.42: 7-38.
- Fritzboeger, Bo 1994. Kulturskoven. Dansk Skovbrug fra Oldtid til Nutid. København.
- Nihlén, John 1939. Äldre järntillverkning i Sydsverige. *Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie* Nr.9.
- Saini-Eidukat, B. et al. 1994. Hibbingite, a new mineral from the Duluth complex. *American Mineralogist*, Vol.79: 555-561.
- Serning, Inga 1973. Förhistorisk järnhantering i Dalarna. *Jernkontorets Forskning Serie H* Nr.9, 139 s.
- Voss, Olfert 1993. Snorup. Et jernudvindingsområde i Sydvestjylland. *Nationalmuseets Arbejdsmark*, s. 97-111.
- Ödman, A. 2001. Vittsjö. En socken i dansk järnbruksbygd. *Lunds Universitet, Arkæologisk Institut, Report Series* No.76: 1-179.