

UNIVERSITETET I TRONDHEIM, VITENSKAPSMUSEET

RAPPORT

ARKEOLOGISK SERIE

1991-1

Lars F. Stenvik (red.)

Arkeo-metallurgi

Kurs ved Universitetet i Trondheim 11.-15. januar 1988



Trondheim 1991

Universitetet i Trondheim, Vitenskapsmuseet, Rapport, "Arkeologisk serie", vil inneholde stoff hovedsakelig fra det faglige og geografiske ansvarsområde som Arkeologisk avdeling, Universitetet i Trondheim, Vitenskapsmuseet, representerer.

I serien publiseres materiale som en av ulike hensyn finner ønskelig å gjøre kjent. Foruten rapporter vil det dreie seg om vitenskapelige og populærvitenskapelige artikler av mindre omfang. Oppdragsrapporter vil utgjøre en stor del av serien.

Rapport-serien er ikke periodisk, og antall nummer pr år vil variere. Serien startet i 1973. Det finnes parallelt en "Botanisk serie" og en "Zoologisk serie".

Som regel blir norsk språk brukt. Rapporten bør normalt ha et sammendrag på norsk. Innholdet skal sammenfattes i et innledende abstract. Medarbeidere fra andre land kan skrive i rapporten på sitt morsmål, om nødvendig med sammendrag på norsk.

For manuskriptet, illustrasjoner, referanser o.l. følges vanlige retningslinjer. (Jfr retningslinjer for Universitetet i Trondheim, Vitenskapsmuseet, Gunneria.)

"Arkeologisk serie" trykkes i A4-format i offset. Opplagstallet vil variere.

Utgiver:

Universitetet i Trondheim, Vitenskapsmuseet
Arkeologisk avdeling
N-7004 Trondheim

Redaksjonskomité:

Lars F Stenvik
Birgitta Wik

UNIVERSITETET I TRONDHEIM, VITENSKAPSMUSEET

RAPPORT ARKEOLOGISK SERIE 1991-1

ARKEO-METALLURGI

Kurs ved Universitetet i Trondheim
11.-15. januar 1988

Redigert av Lars F Stenvik

Universitetet i Trondheim
Vitenskapsmuseet

Trondheim, april 1991, 300 eksemplar

INN H O L D

Program	s 5
Deltakere	s 6
A Espelund og L F Stenvik: Forord	s 7
L F Stenvik: Lavteknisk jernframstilling i Trøndelag. Forskningsstatur og perspektiv	s 9
A Espelund: De lange linjer i jernets historie	s 33
A Espelund: Hva er jern og stål?	s 39
A Espelund: Litt kjemi ved jernblestring beregnet på arkeologer	s 49
A Espelund: Konstruksjon og drift av ovner for jernframstilling fra romersk jernalder/folkevandringstid i Midt-Norge	s 63
G A Blom: Jern og kobber i eldre skriftlige kilder	s 79
O Stemshaug: Stadnamn og jernvinne	s 101
A Espelund: Praktiske undersøkelser	s 111
R Sæterhaug: Arkeologisk jern- og korrosjonsprodukter og bevaring	s 123

KURS I ARKEO - METALLURGI

Program

Mandag 11.01

0900 - 0915

Velkommen. Arne Espelund, Lars Stenvik.

0915 - 1000

Malmgrunnlaget for fremstilling av jern og kobber.

Gunnar Juve.

1000 - 1045

De lange linjer i jernets historie. Arne Espelund.

1045 - 1100

Pause.

1100 - 1130

Minimumsgrunnlaget i kjemi. Arne Espelund.

1130 - 1200

Deltakernes halvtime.

1200 - 1300

Lunsj.

1300 - 1600

Kjemi fortsetter. Regneøvelser.

Tirsdag 12.01.

0900 - 1000

Den tidlige jernvinnas tradisjonsbakgrunn. Arne B.Johansen

1000 - 1015

Pause

1015 - 1130

Lavteknisk jernframstilling i Trøndelag.

Forskningsstatus og perspektiv. Lars F.Stenvik.

1130 - 1200

Deltakernes halvtime.

1200 - 1300

Lunsj.

1300 - 1600

Innføring i mikroskopi. Materialprøving.

1730

Besøk Trondheim jernindustri.

Onsdag 13.01.

0900 - 1000

Hva er jern og stål?. Arne Espelund.

1100 - 1015

Pause.

1015 - 1200

Forsøk på jernframstilling i Evenstadovn.

Parallelt foregår smiing og herding.

1200 - 1300

Lunsj.

1300 - 1600

Forsøk fortsetter.

Torsdag 14.01.

0900 - 0945

Jern og kobber i skriftlige kilder. G.Authen Blom

0945 - 1030

Kva kan stadnamn fortelje? Ola Stemshaug.

1030 - 1045

Pause.

1045 - 1130

Jernvinna som skoleprosjekt. Ivar Berre.

1130 - 1200

Deltakernes halvtime.

1200 - 1300

Lunsj.

1300 - 1600

Prøver av jern fra egen framstilling og fra smiing studeres i mikroskop. Prøver av funn analyseres.

Fredag 15.01.

0900 - 1000

Forsøk på tolking av smelteprosessen i rom. jernal. A.Espelund

1000 - 1015

Pause.

1015 - 1130

Korrosjon og bevaring.

1130 - 1200

Deltakernes halvtime.

1200 - 1300

Lunsj.

1300 - 1400

Disponipel.

1400 - 1500

Oppsummering. Avslutning.

KURS I ARKEO-METALLURGI

GRUPPEINNDELING

Gruppe 1

Perry Rolfsen
Sigmund Jakabsen
Tore Bjørge
Kirsti Hauge Riisøen
Lil Gustafson
Marek Jasinski

Gruppe 2

Hege Svane
Bitten Bakke
Lars Narmo
Helge Sørheim
Roar Sæterhaug

Gruppe 3

Evabeth Astrup
Tom Bloch Nakkerud
Svein Indrelid
Eva Moberg
Lars F. Stenvik

Gruppe 4

Jan Henning Larsen
Per Haavaldsen
Kristin Michelsen
Jan Brendalsmo
Oddmunn Farbregd

F O R O R D

Det er mange grunner til at vi tok initiativ til et kurs i arkeometallurgi i universitetsmiljøet i Trondheim.

1. Arbeidet med "jernvinna" som skoleprosjekt har bragt Arne Espelund i nær kontakt med "lavteknisk" jernframstilling, slik den ble drevet i Østerdalen på 1700-tallet. Det gjelder alle sider, fra leting etter myrmalm, røsting, trekolbrenning og selve arbeidet ved ovnen. Denne erfaringen har vært viktig for tolkning av eldre perioders prosesser. Det praktiske arbeidet har gitt oss noen svar, men også ført til mange nye spørsmål.
2. I 1982 ble det meget godt bevarte blesterovnsanlegget på Heglesvollen fra eldre jernalder funnet. Det førte til et nært og givende samarbeid mellom metallurgi og arkeologi særlig representert ved undertegnede. - Det er senere konstatert et stort antall anlegg av Heglesvolltypen i Midt-Norge og vi har supplert opplysningene fra Heglesvollen ved utgravninger i Gauldalen. Her har vi dessuten undersøkt anlegg fra vikingtid/middelalder som er av en tredje type.
3. Gjennom registreringer av forskjellig karakter kjenner vi nå flere hundre jernframstillingsplasser i Midt-Norge. Produksjonen har til tider vært meget omfattende, særlig gjelder dette i den eldste fasen, i eldre jernalder. Samtidig vet vi at Trøndelag har hatt en avansert samfunnsorganisasjon før vikingtid. Studier av jernframstillingsplassene kan gi oss ny forståelse av når denne organisasjon vokser fram.
4. Arne Espelund har besøkt utgravningssteder som Mösstrand, Dokkfløyvatn og Hovden og holdt foredrag i Stavanger, Bergen og Tromsø, og dessuten i utlandet. Dette har ført til god kontakt med arkeologer. Det har imidlertid ikke vært tid til å utdype emnene. Samtidig har arkeologer som har arbeidet med undersøkelser av jernvinneplasser ofte følt utilstrekkelighet når man har villet tolke observerte fenomener. Man har ikke de nødvendige basiskunnskaper i metallurgi, fysikk og kjemi. Det var derfor et ønske fra arkeologer om at et slikt kurs kunne arrangeres.
5. Universitetet i Trondheim har lenge ønsket å prioritere tverrfaglig forskning. Undersøkelsene på Heglesvollen er gjennomført som et samarbeid mellom metallurgi, arkeologi, botanikk og geologi. Kollegiet ved Universitetet i Trondheim sa følgelig på et tidlig tidspunkt at et tverrfaglig seminar kunne regne med støtte fra sentralt hold. Dette var et viktig tilsagn for å kunne sette i gang planleggingen av kurset.
6. Det er meget stor interesse for denne typen utmarkfunn hos lokalbefolkningen, i universitetsmiljøet og også internasjonalt. Arne Espelund har mottatt støtte fra Norges Tekniske Høgskoles fond og Halvor Holtas fond. NAVF-Rådet for humanistisk forskning har gitt Espelund driftstøtte med ramme Jernvinna i Midt-Norge. Lars F. Stenvik har mottatt støtte til undersøkelsene på Heglesvollen fra Det Kongelige norske Videnskabs Selskabs Fond og Sparebanken Midt-Norges Fond.

7. Kurset førte de fleste av dem som har arbeidet med utgraving av jernvinneplasser i Norge sammen. Det var meget verdifullt for oss i Trøndelag også å få høre om andres utgravninger og problemstillinger. Kanskje kan vi ha bidratt til en åpnere diskusjon mellom arkeologer, naturvitere og teknologer som arbeider med jernets tidligere historie?

Arne Espelund

Lars F. Stenvik

Lars F. Stenvik

Lavtekniske jernframstilling i Trøndelag

Forskningsstatus og perspektiv.

INNLEDNING

Den arkeologiske jernforskningen er forholdsvis ung i Trøndelag. I 1970-årene ble de første jernvinneanlegg undersøkt i Vitenskapsmuseets regi. I 80-årene har aktiviteten økt adskillig i omfang. Det skyldes særlig utgravningene på Heglesvollen som på grunn av de overraskende resultat, ga støtet til en bredere tverrfaglig satsing. I dette foredraget skal jeg forsøke å gi en status for undersøkelsene så langt.

Spor etter jernutvinning i Midt-Norge har vært kjent lenge. En del "ikke-arkeologer" har registrert og laget regionale og distriktsvise oversikter over jernframstillingsplasser (Mørkved 1967, C. Lødgaard 1962, J. Leirfall 1968, 342). Dette var, om man kan kalle det det, en slags forskningsstatus inntil midten av 1970-tallet. Bortsett fra tilfeldige utbredelsesstudier visste man lite om alder, teknologi og produksjonens omfang over tid.

Det var ingen grunn til å tro at produksjonen i Trøndelag avvek fra den generelle oppfatning av vikingtid og middelalder som høydepunkt. Dette var en oppfatning som var basert på jernrikdom i gravfunn. Vi ser da også at Sverre Marstrander i sin oversikt over Trøndelags forhistorie i 1956 regner med at jernproduksjonen først skyter fart i yngre jernalder (S. Marstrander 1956, 43). Med omfattende undersøkelser og ^{14}C -dateringer av anlegg i Telemark i 1960-70-årene ble denne oppfatningen ytterligere befestet (I. Martens 1982).

Dateringer av de første anlegg som ble undersøkt i Trøndelag passet så avgjort ikke med dette bildet. Det tegnet seg etter hvert et helt annet mønster.

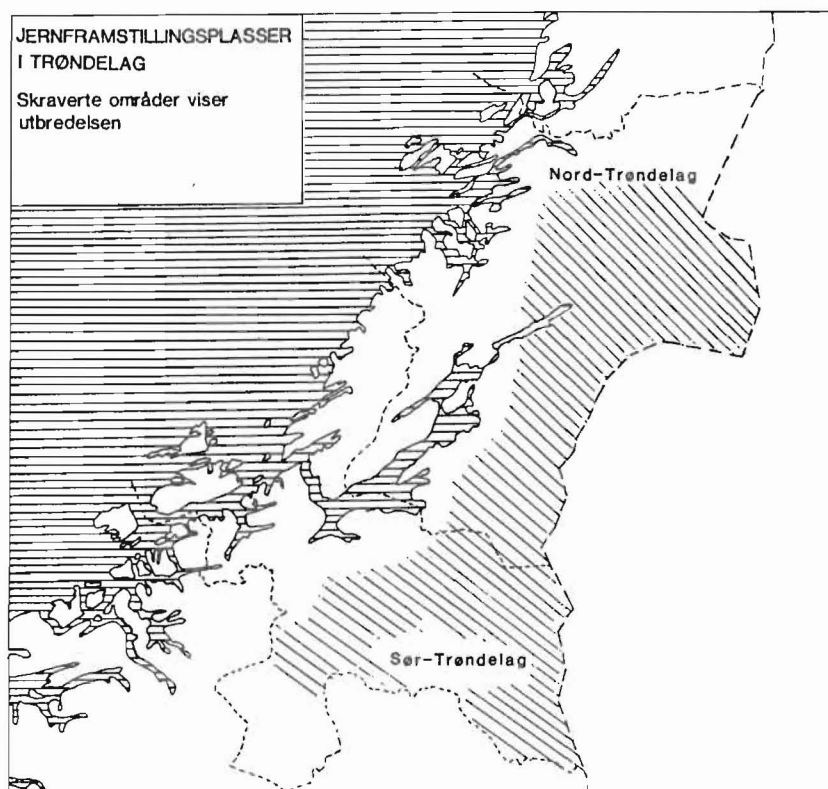


Fig 1

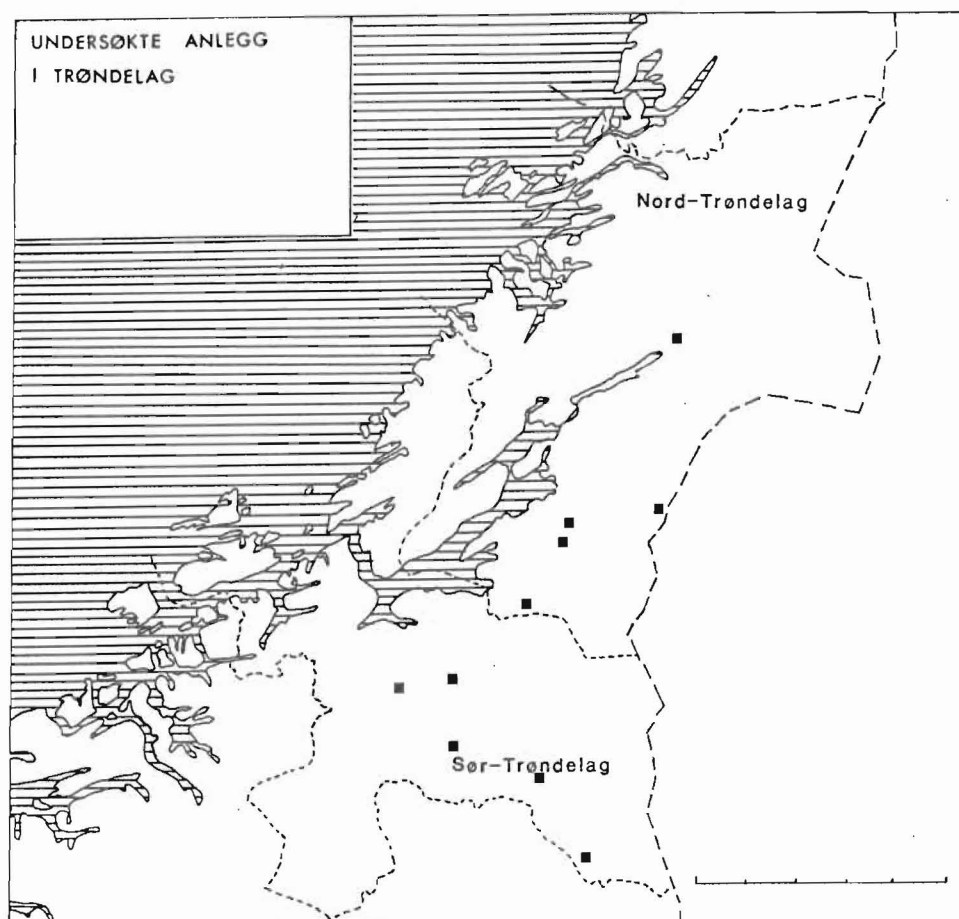


Fig 2

MATERIALET

Til nå er det gjort arkeologiske undersøkelser på 15 jernframstillingsplasser i Trøndelag. På disse jernframstillingsplassene har vi i noen tilfelle undersøkt flere frittstående anlegg som antakelig stammer fra ulike tidsepoker. (På Heglesvollen er 4 ovner på 3 anlegg utgravd, på Tovmoen i Budal er 2 anlegg undersøkt.) Undersøkelsenes intensitet har samtidig variert fra omfattende utgravninger på Heglesvollen til mer beskjedne uttak av dateringsmateriale. Materialet er med andre ord verken stort eller direkte sammenlignbart fra anlegg til anlegg. - På den annen side er undersøkelsen spredt ut over hele Trøndelag slik at de fleste jernproduserende områder er representert (fig 1). Det må imidlertid gjøres flere undersøkelser før man kan hevde at materialet er representativt for Trøndelagsområdet. Det er allikevel visse tendenser i materialet som påkaller interesse og som staker vegen for nye målrettede undersøkelser.

På teknologisk og organisatorisk grunnlag kan man trolig inndeile materialet i to (jfr. A. Espelund): En eldre fase og en yngre fase. (I tillegg kan det være aktuelt å regne Evenstadepoken som en tredje.) I den videre framstilling vil denne inndelingen bli brukt.

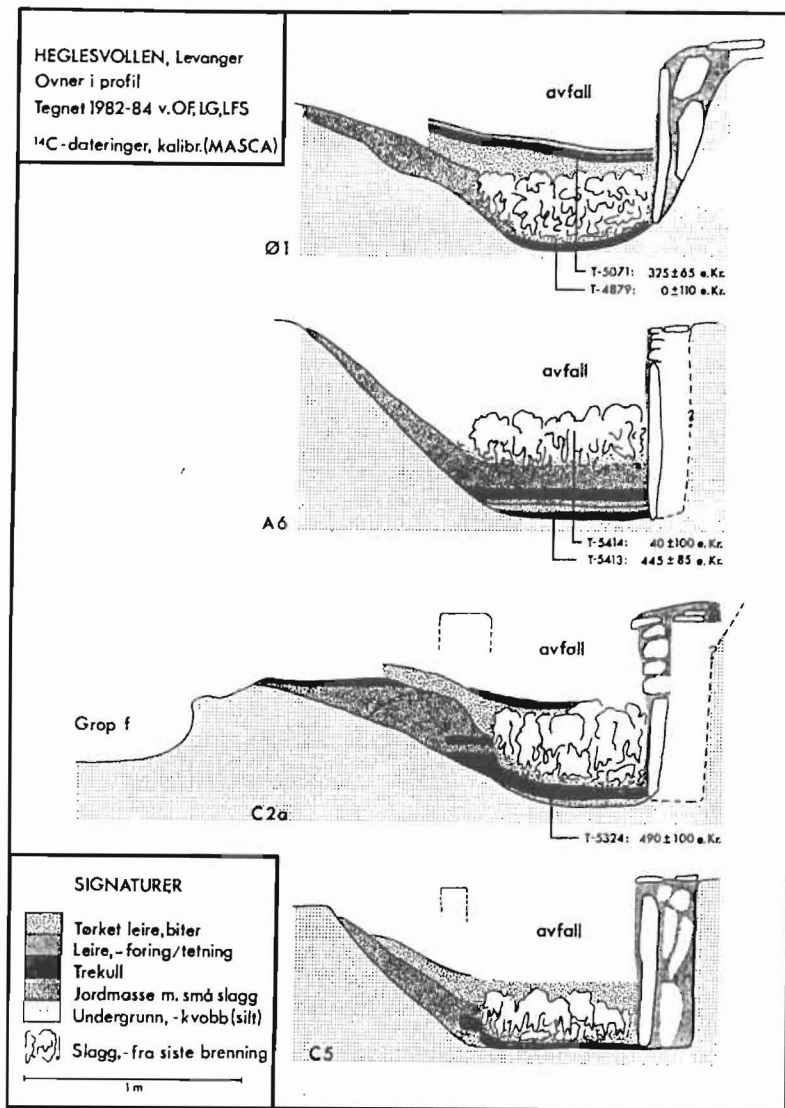


Fig 3

DEN ELDSTE FASEN, ELDRE JERNALDER (KR.F. - CA. 500 E.KR.)

Etter hvert som dateringene av de første anleggene vi undersøkte forelå, så ble den høye alderen svært påfallende. Stikk i strid med det en kunne forvente, ble alle tidsfestet til eldre jernalder. Det er først i de siste par årene vi har kommet borti anlegg fra yngre jernalder og middelalder.

Hittil er 8 anlegg datert til eldre jernalder. Fem av dem ligger i N-Trøndelag, mens 3 ligger i Sør-Trøndelag. I tillegg til disse 8 anleggene vil jeg anta at 3 andre anlegg som ble undersøkt sist sommer, er fra eldre jernalder. Det foreligger enda ikke ¹⁴C-dateringer fra disse undersøkelsene.

Det er først og fremst undersøkelsene på Heglesvollen som har gitt oss kunnskap om eldre jernalders jernframstilling. Her ble de første karakteristiske ovnene utgravd. Men før vi tar for oss de element som ble dokumentert på Heglesvollen, kan det være på sin plass å nevne at vi også har undersøkt jernframstillingsanlegg der ovnskonstruksjonen ikke kunne dokumenteres. Det gjelder alle de tre anleggene som ble gravd ut før Heglesvollen: Sul i Verdal, Hoset i Stjørdal og Navlus i Snåsa. På alle disse stedene ble det funnet groper fylt med slagg og trekull. Om dette var rester etter ovner er imidlertid noe usikkert (jfr. Farbregd 1977 og 1983).

OVNENE

Vi har avdekket en standardisert ovnstype i eldre jernalder. Alle de utgravde ovnene på Heglesvollen hadde samme utforming. Sist sommer fant vi helt parallelle ovner i Hessdalen i Sør-Trøndelag. Vi må dermed kunne tro at denne teknologien var utbredt i store deler av Trøndelag i eldre jernalder.

Ovnene ligger ut mot terrassekanter, på lettgravd grunn. Den del av ovnen som kunne dokumenteres, lå nedgravd i bakken, men den må ha hatt en overbygning. Den nedgravde delen var tilnærmet sylinderformet, 0,7-0,8 m i diameter, og mellom 0,8 og 1,0 m dyp. Mot terrassekanten er det en åpning i ovnene. Fra denne åpningen som er mellom 0,45 og 0,60 m bred, fører en sjakt på skrå oppover.

Veggene i den nedgravde del av ovnen var bygget av vertikale steinheller nederst, og skjøtt på med horisontale små steiner øverst. På begge sider av åpningen var det portallignende steiner. Leire var brukt som bindemiddel og foring. Foringen kunne være opp til 10 cm tykk. Den nedgravde delen har ikke nødvendigvis vært fullstendig leirforet ettersom slagg som ble funnet in situ hadde størknet mot stenhellene i veggene.

På toppen av den nedgravde ovnsdelen var det en hesteskoformet krans leire og små stein, 15-30 cm bred. Dette må ha vært fundament for en overbygning. I alle ovnene ble det nemlig funnet rester av brent leire og småstein øverst. Dette oppfattet vi som rester av en sammenrast overbygning, en skorstein. En del av disse bitene viser flere interessante trekk. Skorsteinen er åpenbart reparert med leire flere ganger. Vi har funnet biter som er påklint et ca 1 cm tykt leirlag og rødbrent minst 5 ganger. Et større fragment som ble funnet oppi en av ovnene på Heglesvollen, viste at leirveggen dannet en vinkel med flate små steiner på baksiden. Dette fragmentet kan indikere at overbygningen har vært konisk.

Fra ovn C2a på Heglesvollen ble alle bitene av den sammenraste overbygningen tatt vare på. Det har ikke vært mulig å sette bitene sammen, men de dekker en overflate på ca 1,2 m². Dette skulle i sin tur tilsi at skorsteinen kan ha vært bortimot 1,5 m høy.

Leirbitene som ble funnet øverst i ovnen var rødbrent og ofte forslagget i motsetning til leiren i veggene nederst i ovnen. Denne observasjonen må bety at selve reduksjonen må ha skjedd i sjakta over bakkenivå (jfr. ellers Arne Espelunds tolking).

Det er ikke funnet noen luke til åpningen i den nedgravde del av ovnen, men vi må anta at det har vært en slik luke. Dette er forøvrig observert på danske jernframstillingsovner fra tiden omkring Kr.f. (A.H. Andersen m.fl. 1987,12). Ut gjennom denne åpningen har man åpenbart raket ut slagg og tatt ut jern. I alle de utgravde ovnene kunne vi følge et svart trekullholdig lag fra ovnen og opp gjennom den skrå sjakta. Dette må være resultatet av den siste utrensning. I en av ovnene på Heglesvollen ble foringen til et konisk blesthull av brent leire funnet. Det var omtrent 3 cm i tverrmål.

De nederste 30-50 cm i ovnene inneholdt større og mindre svarte klumper av slagg som må være resultatet av den siste brenning i ovnen. Denne in-situ-slaggen veide mellom 20 og 144 kg. Den nedgravde del av ovnen ser med andre ord ut til å ha fungert som resipient for slagg.

Det foreligger ^{14}C -dateringer fra disse ovnene som spenner fra Kr.f. til 500-tallet e.Kr. Dette skulle tyde på at ovnstypen har hatt en lang levetid. Det har ikke vært mulig å finne klare paralleller til våre ovner, men de har likhetstrekk med ovner fra sein førromersk jernalder i Bøhmen (Pleiner 1984, 138-139, Abb. 2:5, 8 A-C), og ovner som er undersøkt i Närke og Västmanland i Sverige som også er fra førromersk jernalder (Serwing 1979, 70 f, Wedberg 1984). De ovnene som står nærmest våre er imidlertid ovner som er undersøkt i Jämtland de senere år (Magnusson 1986). Disse er imidlertid ^{14}C -datert til AD 475-550 og kan således være utløpere av den trønderske jernindustri.

I hovedutforming tilhører Heglesvollovnene, om vi kan kalle dem det, en europeisk sjaktovn-tradisjon. Den fins i mange variasjoner, men det er særlig i nord man har utviklet en slaggrep for oppsamling av slag (Tylecote 1987, 176). Dette gjør at ovnen kan brukes flere ganger.

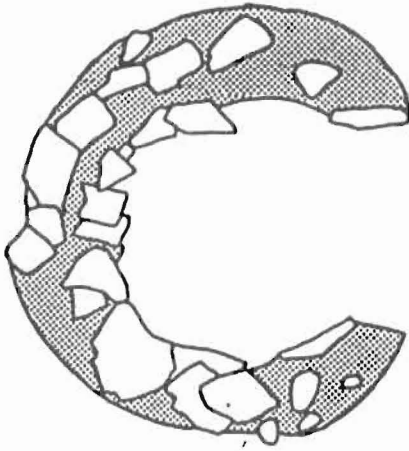
ROSETTANLEGG

Det som kanskje har vært aller mest interessant ved de undersøkte anleggene fra eldre jernalder, er de såkalte rosettanleggene. Vi har gitt dette navnet fordi det rundt hver ovn fins et sett groper som danner et rosettmønster. Gropene har åpenbart hatt bestemte funksjoner i arbeidsoperasjonene, ettersom det samme mønster går igjen fra ovn til ovn og fra anlegg til anlegg. På Heglesvollen er det 4 groper rundt hver ovn i en rosett. Ett slikt rosettanlegg er undersøkt. En av de omkringliggende gropene kunne vi tolke som oppbevaringsgrop for røstet malm (C2e), mens de andre 3 gropenes funksjon var mer problematiske. En var fylt med stein (C2b), både store heller og mindre stein. De to gropene som lå bak ovnen (C2c og C2d) hang sammen. Bortsett fra en liten steinsamling og litt magnetisk jern ble det ikke funnet noe som kunne antyde funksjonen.

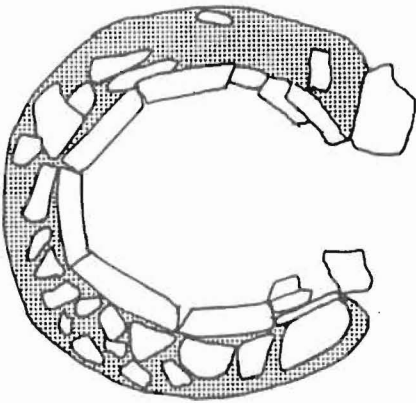
På flere av de undersøkte anleggene har vi kunnet observere at rosettsanleggene ligger side om side på terrassekanter. På Heglesvollen ligger 4 anlegg samlet på denne måten. Dette antallet har vi siden sett flere steder, bl a i Hessdalen i Sør-Trøndelag. Ingen av rosettene overlapper den nærmest liggende rosetten. Dette standardiserte antallet og mønstret må kunne oppfattes slik at de 4 ovnene har vært drevet samtidig. Det ser ut som man har kommet fram til en arbeidsorganisasjon som har vært optimal, man kan ha drevet ovnene slik at hver ovn var i forskjellig faser av prosessen som sylindrene i en firesylindret motor.

Flere ting tyder på at dette er det siste stadium i utviklingen av jernframstillingen i eldre jernalder. For det første, så har ^{14}C -dateringen av ovner i slike rekker av rosetter gjennomgående vært yngre enn dateringer av ovner som tilsynelatende står alene. For det andre, så har rosetten C2 som er en av de 4 på rekke på Heglesvollen, blitt anlagt oppå en eldre enkeltstående ovn.

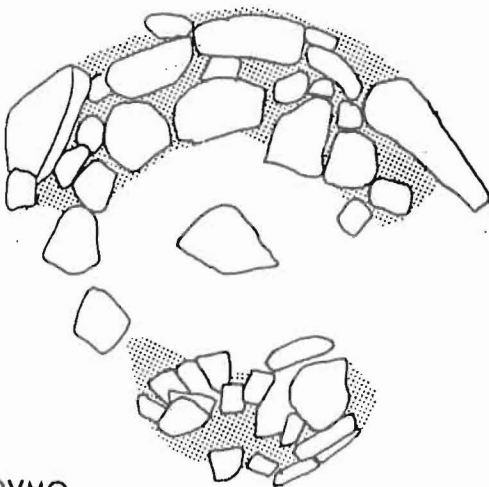
Å drive et slikt "batteri" av ovner må ha krevd et ganske stort mannskap (jfr A. Espelund). Det må videre ha krevd store forråd av råstoff, og en omfattende forsyning av mannskapene og rimeligvis store bolighus. Alt dette må ha krevd en organisasjon som vi skal komme tilbake til senere.



HEGLESVOLLEN



VÅRHUSVOLLEN



TOYMO

 leire

0  1m

Fig 4
"Ovnskranser" fra tre eldre jernalders anlegg.

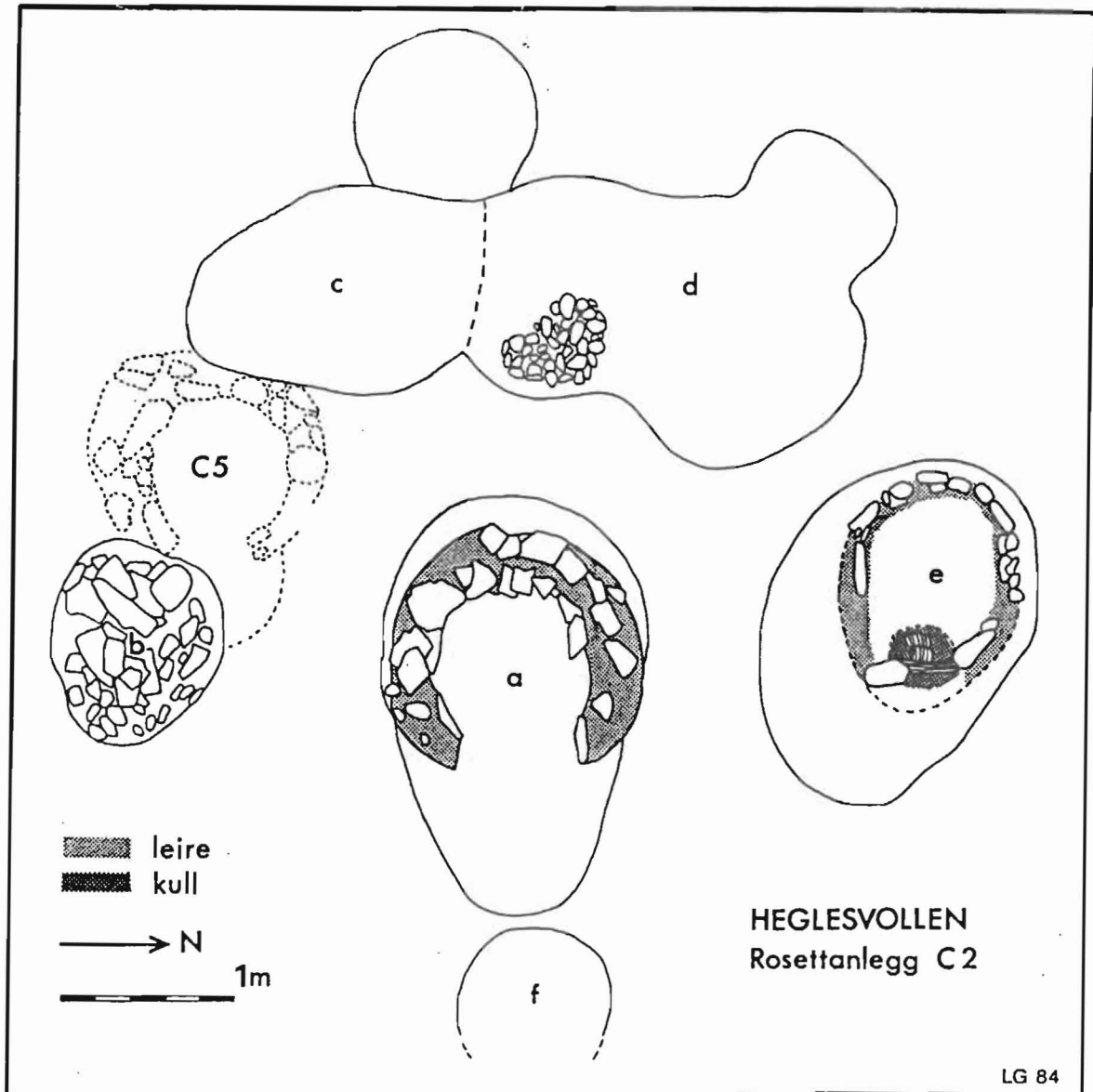


Fig 5

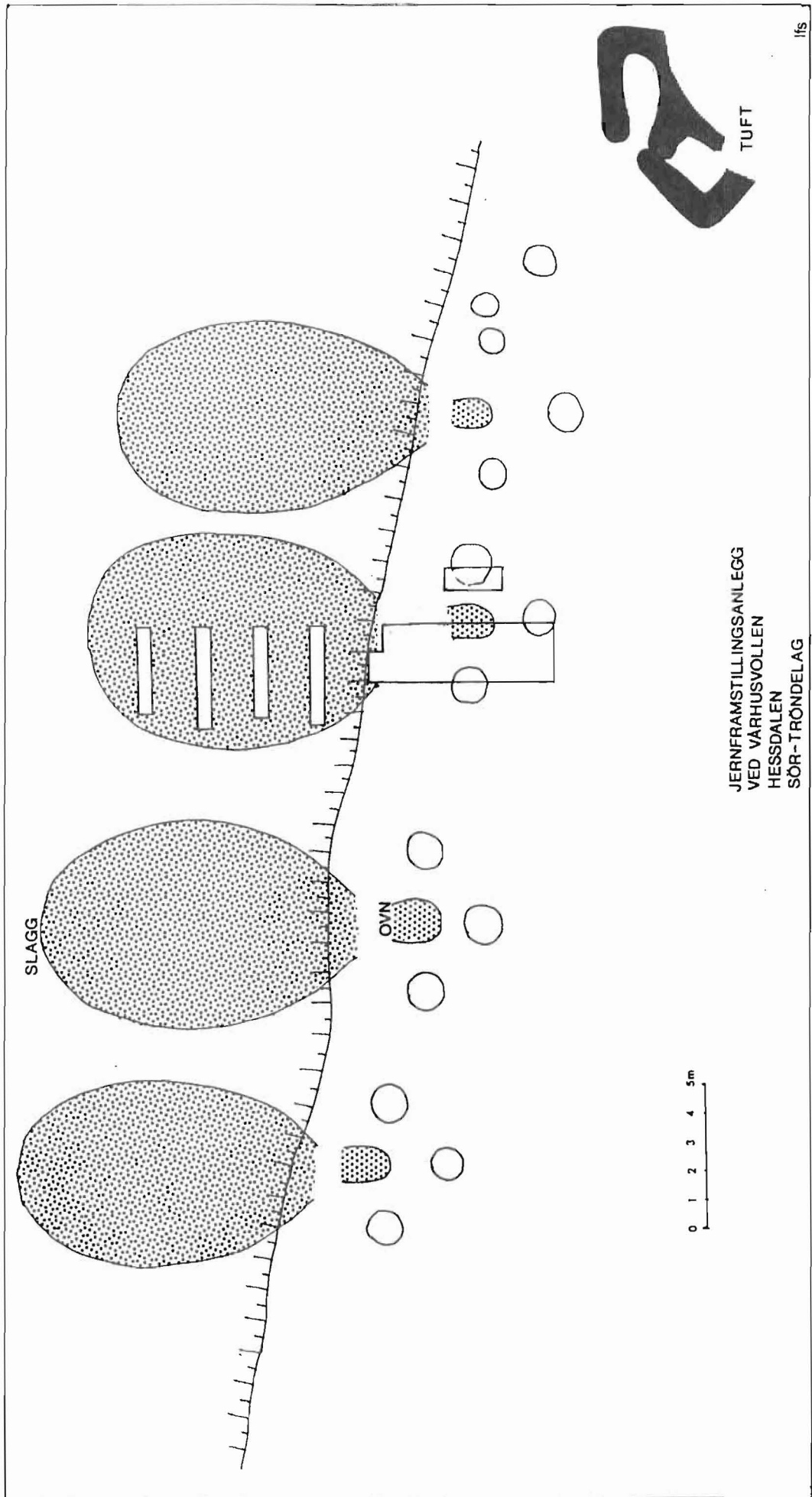


Fig 6

HUS

På Heglesvollen er det registrert flere hustufter som har sammenheng med jernframstillingen. Ett av dem er arkeologisk undersøkt, mens to andre er delvis utgravd. Det undersøkte er samtidig det største av dem alle (B4). Det spesielle ved dette huset var at det manglet ildsted. Hvis det hadde vært et bolighus, ville det ha vært en nødvendighet. Det ble ikke gjort et eneste funn av gjenstander i tufta. En fosfatkartering var like negativ. Huset har hatt vegger bygd av torv, men med åpen vegg eller lettvegg mot øst (ovnene). I åpningen kunne vi dokumentere 3-4 stolpehull hvorav 3 i selve veggvullen. Bare ett stolpehull i midtaksen ble funnet. Huset har målt ca 11 x 4 m - innvendig. Selv om det ikke ble funnet klare spor etter røstet malm, har jeg tolket dette huset som et malmlager. Man kunne ellers tenke seg at trekull ble lagret i et slikt hus, men det var alt for lite trekull i tufta til at det var sannsynlig. Som vedlager ville det vel også være for rått. Ved tørker best i friluft.

Hvis min påstand om malmlager er riktig, kan det passe bra med det omfang vi mener å øyne på produksjonen. I dette huset kunne man oppbevare 30-40 m³ malm, nok til en sommers forbruk. En datering av trekull fra veggvullen i denne tufta viste 1830 BP (150 +- 100 e Kr). Dette blir en bakre datering av tufta.

De andre husene vi har gravd i på Heglesvollen, skiller seg fra det ovennevnte ved størrelse og funksjon. De vil bli ferdiggravd førstkommende sommer.

I den ene tufta (B3) er det funnet flere stolpehull. Et av stolpehullene er datert til 1900 BP (AD 20-220). Hustufta ser ut til å ha vært forstyrret av senere aktivitet, da det er anlagt en grop midt i tufta. Ved denne gropa var det en ildstedlignende oppbygning og et rødlig lag som antakelig er røstet malm. Dette ildstedet er datert til 1550 BP (425 + - 135 e Kr). Like ved dette ildstedet ble forøvrig det eneste gjenstandsfunnet på Heglesvollen gjort: En brynestein med eliptisk tverrsnitt og slitefure på bredsiden.

Den andre tufta (B6) som enda ikke er ferdiggravd, har en steinpakning i den østre enden. Kanten av steinpakningen ble avdekket på ettersommeren ifjor og det er nødvendig med noe tømmerhogging for å fortsette undersøkelsene kommende sommer, det er forøvrig ikke gjort funn i tufta.

Hustufter synes å opptre på andre anlegg fra eldre jernalder. Det er bl a registrert en tuft like ved rosettanleggene som ble undersøkt i Hessdalen i 1987. Denne tufta skiller seg noe fra tuftene å Heglesvollen ved at den har vegger av stein og åpning i langsiden. Den er adskillig mindre enn tuftene på Heglesvollen. - På registrerte anlegg i nærheten av Heglesvollen har vi imidlertid sett tufter med klare likhetstrekk med de undersøkte tuftene på Heglesvollen.

Det er altså en forskjell mellom våre tufter fra eldre jernalder og de tufter som er funnet på sørnorske anlegg, bl a i Møsstrand, og som vi har sett på Hovden i Setesdal. Her har selve blesterovnen ligget inne i tuftene, likeledes malm- og trekullager (Martens 1982). Vi har enda ikke funnet denne type hus i Trøndelag.

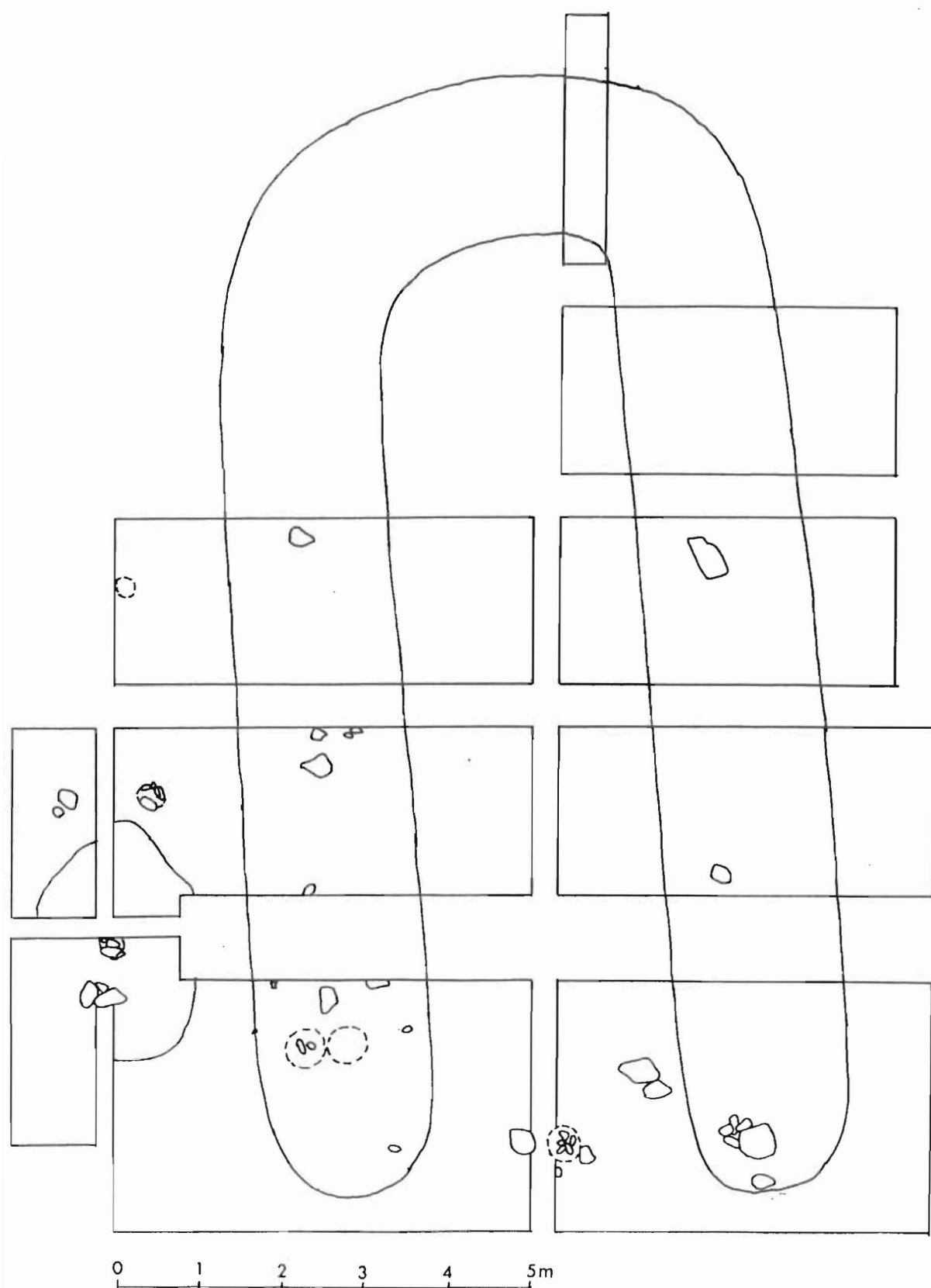


Fig 7
Hustuft B4 på Heglesvollen.

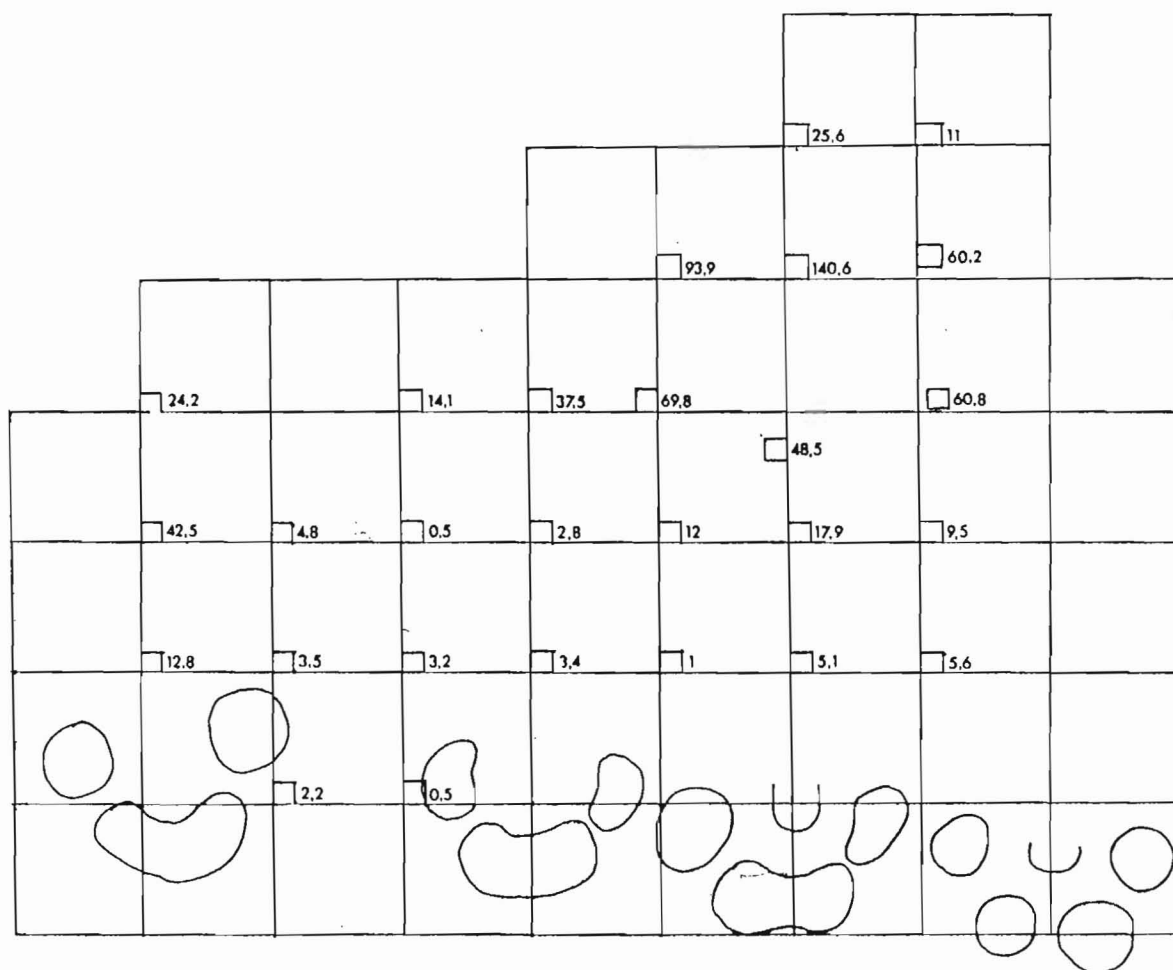


Fig 8

Slagghaug på Heglesvollen inndelt i ruter på 3x3m. Innenfor denne ruten ble en mindre rute på 50x50cm gravd ut. Slaggmengden i hver utgravd rute er anvist på figuren.

SLAGGHAUGENE

På Heglesvollen og i Hessdalen har vi gjort beregninger av slagmengdene. Nedenfor de fire sammenhørende rosettene på Heglesvollen er det påvist ca 100 tonn slag. Ut fra malm- og slagganalyser er det beregnet at dette tilsvarer en jernproduksjon på ca 50 tonn (jfr Espelund). Det kan ha gått med 200 tonn røstet malm og 200 tonn trekull i framstillingen. Dette vil igjen si at 4000 m³ trevirke hovedsakelig furu ut fra treslagbestemmelser, er felt og 1000 tonn rå malm er gravd opp av myrene.

Hvis vi tar med alle de andre anleggene på Heglesvollen, har produksjonene totalt sett vært langt større.

Ved de 4 ovnene i Hessdalen er det påvist ca 50 tonn slag, altså omtrent det halve av Heglesvollen, men fremdeles en betydelig mengde som burde tilsi en produksjon i størrelsesorden 20 tonn jern.

Det er et karakteristisk trekk ved eldre jernalders ovner at slaggen er veltet ut over en skråning i vifteform.

ANDRE TREKK VED ELDRE JERNALDERS ANLEGG

Vi har ikke funnet klare trekullmiler i tilknytning til anleggene fra eldre jernalder. Det kan selvsagt skyldes at vi har lett på feil sted. På den annen side er det merkelig at vi ikke skulle finne mange trekullmiler med det omfang produksjonen har hatt. En nærliggende forklaring kan være at man i stor utstrekning har brukt ved. Vi vet jo at dette ble brukt i Evenstadovnen i nyere tid.

På Heglesvollen har vi forsøkt å få svar på om jernframstillingen ble kombinert med annen aktivitet som f.eks. husdyrhold. Ingen av husene ser ut til å ha vært fjøs eller stall, men pollenanalyser av myrer omkring Heglesvollen er utført for eventuelt å bringe klarhet i forholdet. Analysearbeidet er enda ikke ferdig, men det er ikke klare indikasjoner på at jernvinneaktiviteten har vært kombinert med beiting f.eks. (T.Solem 1985, 66 f). Vi må følgelig kunne anta at jernframstilling var den aller viktigste aktivitet på Heglesvollen i romertid.

DEN YNGRE FASEN. YNGRE JERNALDER/MIDDELALDEREN

Som en klar kontrast til anleggene fra eldre jernalder står anleggene fra den yngre fasen. Så langt er 4 anlegg datert til yngre jernalder eller middelalder.

De ligger alle i Sør-Trøndelag. 3 av dem er undersøkt som følge av vassdragsregulering. Alle disse var skadd. Vi har heller ikke funnet ovner av tilsvarende bevaringsgrad som ovnene fra eldre jernalder, men de observasjonene som var mulig å gjøre har vært tilstrekkelig til å si en del om konstruksjon og teknologi.

OVNENE

Til forskjell fra eldre jernalders ovner så har de undersøkte ovnene fra yngre jernalder eller middelalder hatt slaggavtapping. Slaggen har dermed fått en annen karakter ettersom den har flytt. Ovnene har heller ikke hatt så store nedgravninger som vi har sett i eldre jernalder der dybden kan være opp til 1 m. En av ovnene på Håen, som er ¹⁴C-datert til 6-700-tallet. (Håen I), var riktignok noe gravd ned i undergrunnen, men ikke mer enn ca 30 cm. Denne ovnen var leirforet, bygd opp av vertikale steinheller og støtet opp av horisontale heller og runde steiner. Ved utgravningen var ovnen dekket av en steinrøys. Dette kan være restene av en skorsteinsbygning, men det kan også tenkes at man har latt ovnen bygge i en røys man hadde anlagt på forhånd. På svenske jernframstillingsplasser har man funnet tilsvarende byggemåte i middelalder/yngre jernalder, der ovnen er omgitt av en steinpakning (Serning 1979, 76 f, fig 22). Steinpakningen må ha hatt isolerende effekt.

Ovnen på Håen I har hatt en indre diameter på ca 50 cm, leirforingen var omtrent 10 cm tykk nederst. I slaghaugen ved siden av ovnen ble det funnet deler av et konisk blestmunnstykke. Det kan være en indikasjon på at ovnen har vært drevet med blåsebelger ved siden av naturlig trekk. Det ble ikke funnet blestinntak på den utgravde ovnen.

Hvor høy ovnen har vært er vanskelig å avgjøre, ettersom det var bare de nederste 30 cm av ovnen som ble funnet. Det er med andre ord vanskelig å avgjøre om det er en lav sjaktovn eller sjaktovn i henhold til Sernings klassifikasjonsskjema. (Ovnene kan i dette skjema karakteriseres slik: Nedgravd (a), bygd av steiner med leirforing (b), slaggavtapping gjennom siden av ovnen (c), drevet med blåsebelg (2). Altså: I/II a b c 2).

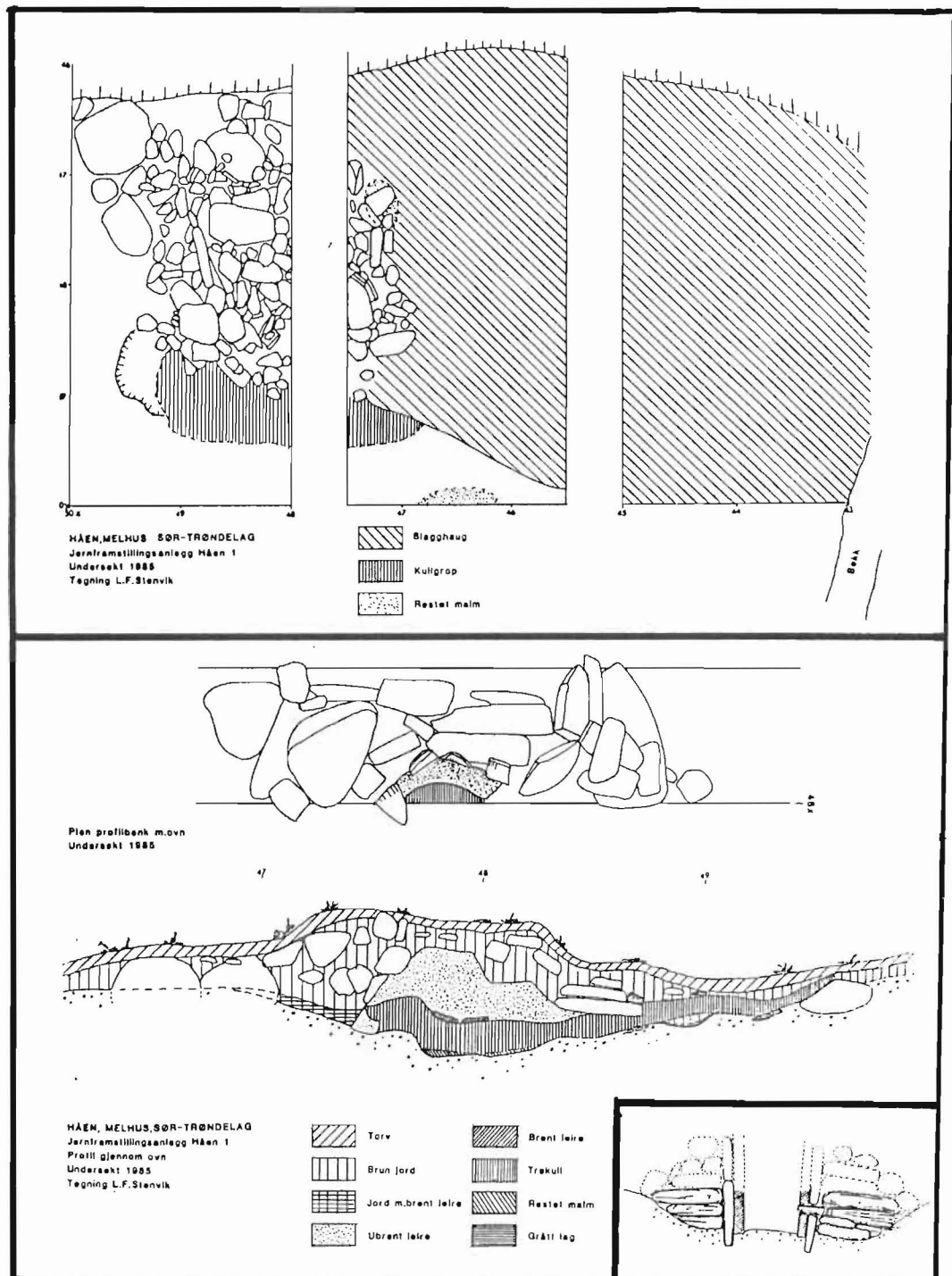


Fig 9

Det ble funnet enda mindre av ovnen på Håen III, men også her var det en slagavtappingsgrop. Leire har inngått i konstruksjonen og diameteren på ovnen må ha vært mindre enn 60 cm. Selve ovnen har stått oppå bakken. Høyden er ukjent (I/II B b C 1/2).

På hver lokalitet er det bare funnet rester av én ovn. I slagghvarpet er det imidlertid funnet både ovnsrester og byggemateriale til ovner. Det tyder på at ovnene er reparert eller bygd opp igjen på nytt flere ganger, men at bare én ovn har vært i drift om gangen.

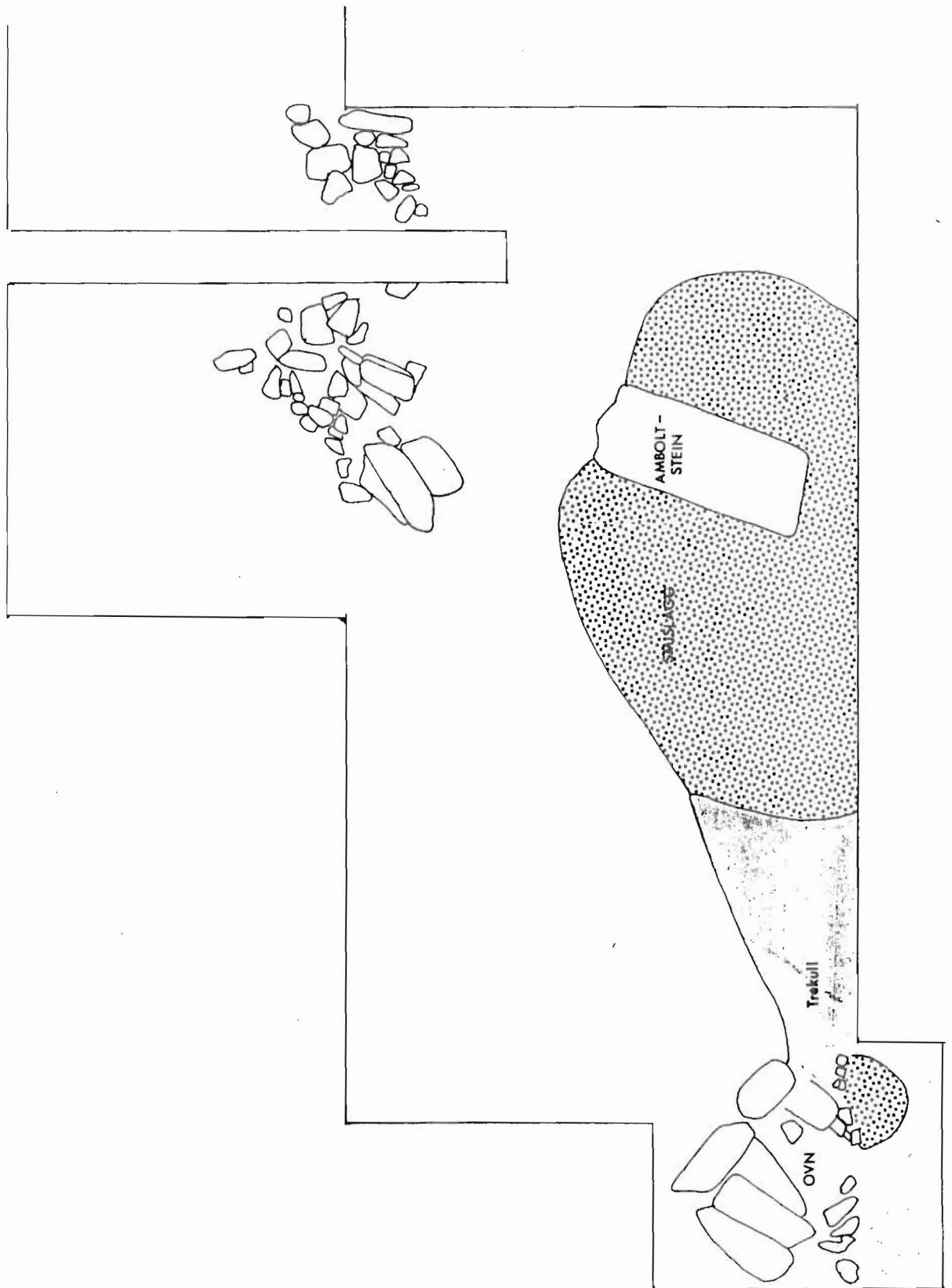


Fig 10
Håen III, Jernframstillingsanlegg fra tidlig middelalder.

SLAGGHAUGENE

Slaggen er kastet opp i en haug ved siden av ovnene fra yngre jernalder/middelalder. På Håen var disse haugene delvis rast ut i vannet, mens den på Sundet ved Røros framstår som en markert haug. I eldre jernalder er det generelle trekk at slaggen er veltet ut over en skråning. Mengden av slag er mindre enn på anleggene fra eldre jernalder. På Håen I er slaggmengden beregnet til ca 10 tonn som tilsvarer en produksjon på ca 6 tonn jern. Slagghaugene har et betydelig innhold av renneslagg.

TREKULLMILER/TREKULLAGER

På de undersøkte lokaliteter fra yngre jernalder/middelalder er det funnet mye trekull både spredt utover gravefeltene men også i store konsentrasjoner i groper ved ovnene. Dette er en klar kontrast til anleggene fra eldre jernalder der vi ikke har funnet slike lagre. Tett ved Håen I er det dessuten funnet en gropmile for trekullframstilling. Ved Håen III er det også sannsynligvis en trekullmile like ved. Her er det påvist et forråd på ca 2 m³ trekull tett inntil ovnen. Av dette må vi kunne slutte at trekull har erstattet ved som brensel i yngre jernalder, kanskje fullt ut.

AMBOLTSTEIN

På Håen III og antakelig også Håen II har vi funnet amboltsteiner i arbeidsavstand fra ovnene. Rundt steinen på Håen III er det et opp til 15 cm tykt lag med smislagg. Denne slaggen har en helt annen karakter enn produksjonsslaggen ved ovnen, ettersom den består av adskjellig mindre biter som har blitt hamret ut ved bearbeiding på amboltsteinen. Selve steinen er ca 130 x 50 cm lang og 30 cm høy. Slike steiner er ikke observert på anleggene fra eldre jernalder, mens de opptrer på jernframstillingsplasser i Jämtland i middelalderen (Magnusson 1986, 258).

SAMMENLIGNING MELLOM ELDRE OG YNGRE FASE

Hvis vi så skal oppsummere noen av forskjellene mellom den eldste fasen og den yngre fasen, så kan vi trekke fram slaggoppsamlingen som i eldre jernalder skjedde i en grop, mens den i den yngre fasen ble tappet ut. Dernest kan vi framholde størrelsen på ovnene. De var vesentlige større i den eldste fasen. Bruk av trekull i yngre jernalder/middelalder ser ut til å ha vært langt mer omfattende enn i eldre jernalder. Mens ovnene i eldre jernalder stort sett ligger langs terrasse-kanten er beliggenheten mer variert i den yngre fasen.

Det som kanskje framfor alt skiller, er allikevel det organisasjonsmønster som synes å tegne seg i de to fasene. I den eldste fasen vitner de standardiserte rosettene og ikke minst de 4 sammenbundne rosettene om en fastlagt måte å drive arbeidet på. Dette sammen med de mange husene på enkelte jernvindeplasser tyder på en svært omfattende produksjon som på den ene siden krever organisering, men på den annen side forutsetter et utbygd distribusjonsapparat.

- Dette bildet står i sterk kontrast til bildet av jernvinne-lokaliteter fra den yngre fasen vi hittil har undersøkt. Dette er atskillig enklere og mer beskjedne anlegg som kan ha vært drevet av et par mann. Vi trenger ikke å forutsette et komplisert sosio-økonomisk apparat for denne produksjonen/-distribusjonen.

PERSPEKTIV

Om en skal kunne dra slutninger ut fra det undersøkte materialet, så blir det et spørsmål om representativitet. - Det har vært ett siktemål med de undersøkelser vi har gjort at de mest mulig skulle dekke Trøndelagsfylkene geografisk. De første utgravningene fant sted i Nord-Trøndelag, det er derfor naturlig i andre omgang å konsentrere seg om Sør-Trøndelag.

Nå er det ikke slik at vi finner spor etter gammel jernframstilling jevnt spredt ut over geografien i de to fylkene. Det ser ut som det er på østsiden av Trondheimsfjorden de først og fremst opptrer. Det er gjort en del registreringer av jernvinne-lokaliteter som nevnt innledningsvis. Men noe mer enn en antydning av hvor gamle jernvinneanlegg fins, kan det neppe bli. Registreringene kan være misvisende om man prøvde å lese kvantitative forskjeller ut av dem.

For å illustrere dette, kan vi bruke Gauldalen som et eksempel. Her registrerte Chr. Lodgaard fram til ca 1960 et 70-talls gamle jernvinne-plasser i Singsås kommune. I nabokommunene var en håndfull jernvinne-plasser kjent på samme tid. Et utbredelseskart ville vist at Singsås var tyngdepunktet i gammel jernframstilling i såvel Gauldalen som Trøndelag. I de siste par årene har jernvinneinteresserte personer i Hessdalen og Budalen, som er nærmeste naboer til Singsås, gjort nye registreringer som viser tilsvarende tetthet som i Singsås. Med dette er forestillingen om Singsås som framstillingens sentrum avlivet. På den annen side har vi kanskje lært at jernvinnetettheten i Singsås kan interpoleres til resten av Gauldalsfjøret, slik at man kanskje gjennom en multiplikasjon kan få et tall for det totale antall jernvinne-plasser i dalfjøret.

Vi har bevisst valgt Gauldalen som et testområde for jernvinna i Trøndelag. De første anleggene som ble undersøkt lå som sagt umiddelbart innenfor de brede jordbruksbygdene i Inntrøndelag. Mellom Inntrøndelag og Gauldalen ligger en klar buffersone slik at man eventuelt skulle oppfange kronologiske og teknologiske forskjeller. I Gauldalen har vi så valgt å gjøre testundersøkelser i ulike soner fra de nedre, brede bygder til fjellområdene ved Røros øverst. Vi har således undersøkt tre anlegg ved Håen i Melhus, ett anlegg ved Altbjørnbekken i Hølonda, to anlegg ved Tovmo i Budalen, fire anlegg i Hessdalen og ett ved Sundet i Røros.

Dette ga en del interessante resultat. For det første fant vi her de første anlegg fra yngre jernalder/middelalder. På den annen side fant vi også de karakteristiske ovnene og rekkene av rosetter som vi kjente fra Heglesvollen i eldre jernalder. I Gauldalen er det derfor en mulighet for at det har vært kontinuerlig jernframstilling fra eldre jernalder til middelalder og kanskje helt til nyere tid. Vi vet det ble produsert jern av myrmalm i Gauldalen helt ut på 17-1800-tallet. - Denne kontinuiteten har vi ikke klart å dokumentere i Nord-Trøndelag. Materialet er enda for spinkelt til at jeg tør antyde noe om forholdet mellom produksjonen i eldre jernalder og yngre jernalder/middelalder.

Alle de 5 undersøkte anlegg i Nord-Trøndelag har som nevnt blitt datert til eldre jernalder. De fem anleggene er valgt nokså tilfeldig. Rent statistisk er det lite sannsynlig, for ikke å si usannsynlig, at vi har truffet på unntakene av det generelle trekk ved jernframstillingsanlegg i Innherred. Vi må tvert imot kunne tro at det var denne perioden som representerer høydepunktet i jernproduksjon i denne delen av Trøndelag.

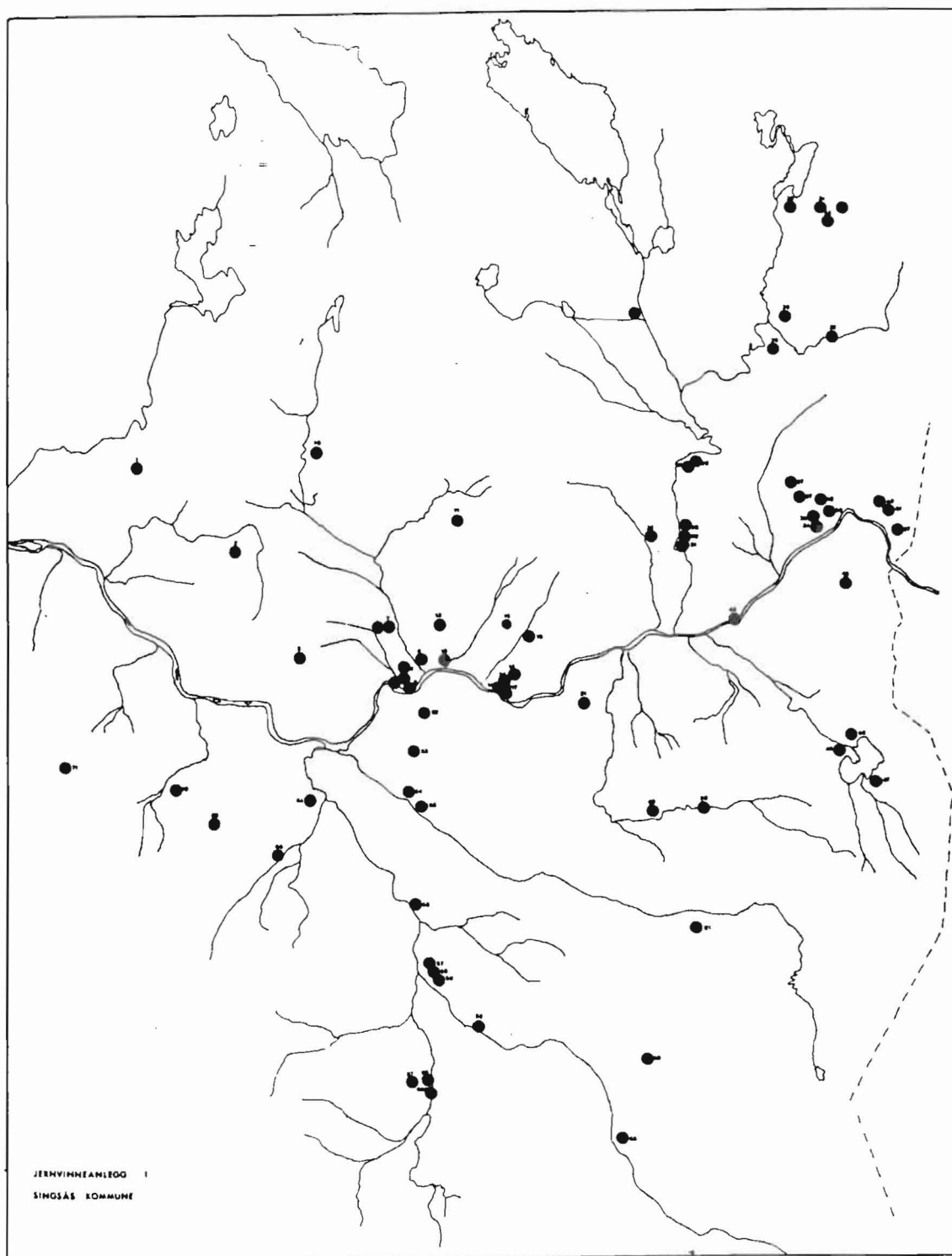


Fig 11
Registrerte jernframstillingsanlegg i Singsås, Sør-Trøndelag.

LOKALITET, ANLEGG	Date- rings nummer	Treslag i prøve	¹⁴ C alder BP	Kalibrert datering MASCA/Pearson & Stuiver
NORD-TRØNDELAG				
HOSSET, STJØRDAL				
Slagghaug, øvre lag	T-1586	Furu	1860±110	120±100 e.Kr.
Slagghaug, nær bunn	T-1685		1930± 80	20±120 e.Kr.
Slagghaug, bunn	T-1585	Furu	1840± 80	135± 75 e.Kr.
Slagghaug, bunn	T-1684		1620± 70	350± 90 e.Kr.
NAVLUS, SNÅSA				
Grop 2, fra jernvinne	T-2342	Bjork	1900± 90	50±110 e.Kr.
Grop med slagg	T-4545	Bjork, furu, einer	1980± 50	20± 90 f.Kr.
Kullmile 3	T-4544	Or, furu, selje	2010± 80	60±130 f.Kr.
Kullmile 4	T-4546	Or, selje	1890± 80	90± 70 e.Kr.
VESTGÅRDEN SUL, VERDAL				
Grop 4, med slagg	T-5069		1690± 80	285±105 e.Kr.
HEGLESVOLLEN, LEVANGER				
Ovn Ø1, bunn	T-4897	Furu	1950± 70	0±110 e.Kr.
Ovn Ø1, kull over slagg	T-5071	Furu	1650± 40	325± 65 e.Kr.
Tuft B4, under veggvoll	T-4900	Furu, bjork, or	1830±100	150±100 e.Kr.
Grop A4	T-4898	Furu	1420± 80	555± 95 e.Kr.
Grop A5	T-4899	Furu	1670± 80	290±110 e.Kr.
Grop A2	T-5070	Furu	1880±100	105± 95 e.Kr.
Ovn A6, bunn	T-5413	Lauvtre	1550± 60	445± 85 e.Kr.
Ovn A6, midten	T-5414	Furu	1910± 80	40±100 e.Kr.
Rosett C2, grop e	T-5327	Furu	1840± 80	135± 75 e.Kr.
Rosett C2, grop c	T-5325	Bjork	1720± 80	260±100 e.Kr.
Rosett C2, grop d	T-5326	Bjork	1700± 80	280±110 e.Kr.
Rosett C2, oven (a)	T-5324	Furu	1510± 80	490±100 e.Kr.
Ovn C5	T-5831	Furu	1780± 50	185± 75 e.Kr.
Røsteplass	T-6533	Or, bjork	1550±100	425±135 e.Kr.
Bunn stolpehull	T-7207	Bjork	1900± 90	20-220 e.kr.
BURAN, LEVANGER				
Prøvestikk inntil ovn	T-6557	Furu, bjork, osp	1790± 70	175± 85 e.Kr.
SØR-TRØNDELAG				
HÅEN, MELHUS				
Ovn, Håen I	T-6763	Furu	1300± 50	675± 55 e.Kr.
Kullgrop, Håen I	T-6764	Furu	1280± 90	710± 110 e.Kr.
Kullag, Håen II	T-7211	Furu	1180±100	690- 970 e.Kr.
Slaggrop, Håen III	T 7210	Furu	610± 90	1280- 1420 e.Kr.
Trekullager, Håen III	T 7212	Furu	870± 50	1050- 1230 e.Kr.
ALTBJØRKBÆKKEN, MELHUS				
Grop	T-7208	Furu	1750± 70	210-380 e.Kr.
TOVMOEN, MIDTRE GAULDAL				
Grop	T-6924	Furu	1610± 80	350-540 e.Kr.
HESSDALEN, HOLTÅLEN				
Rosettovn	T 7021		1600± 80	380-550 e.Kr.
SUNDET, RØROS				
Kullag	T 7209	Furu, bjork	900± 80	1020-1220 e.Kr.

Fig 12

Er det da slik at vi kan regne med en forskjell mellom Sør- og Nord-Trøndelag når det gjelder jernproduksjon i eldre tid? For å nærme oss svaret på et slikt spørsmål, kan det være interessant å gå andre veger. Da er det nærliggende å se etter om det fins forskjeller i det tradisjonelle arkeologiske tilfang i de to fylkene. Dette må være forskjeller som på noen måte kan tilskrives jernproduksjonen. - Rent metodisk er ikke dette lett. Sjansen for å overføre samtidsmodeller er så avgjort tilstede. - Her skal vi bare trekke fram den kjensgjerning at vi uten å tenke etter vil forvente at stor jernproduksjon i en periode skal resultere i mye jern i graver i den samme perioden. Det synes nå klart at det har vært en svært omfattende jernproduksjon i romertid i deler av Trøndelag uten at dette på noen måte reflekteres i samtidige graver. Det var rett og slett ikke skikk og bruk å legge jerngjenstander i graven. - Å forfølge jernrikdom i graver kan derfor være et feilspor, men vi kan forsøke et par andre muligheter.

I romertid er det funnet svært mange graver med importsaker fra romerskkontrollerte områder i Inntrøndelag. Her er det en klar forskjell mellom Nord- og Sør-Trøndelag. Innherred utgjør 10% av Trøndelag, men har alene 40% av romertidsfunnene (L.Marstrander 1983, 175).

En slik kvalitativ forskjell kan muligens følges av en parallell kvantitativ forskjell. Jeg har ikke hatt mulighet til å gjøre statistiske undersøkelser på hele det arkeologiske materiale i de to fylkene, men en sammenstilling av utvalgte områder gir interessante forskjeller. Sentrale områder i N-Trøndelag som Verdal, Ogdal og Høylandet har forholdsvis mange funn fra eldre jernalder i forhold til Gauldalen og Drivdalen. I samme retning peker også undersøkelser av stedsnavn som slår fast at Nord-Trøndelag har en overvekt av navneklasser som tradisjonelt kan dateres til eldre jernalder (Sandnes 1967, 3).

	FUNN FRA YNGRE JERNALDER	FUNN FRA ELDRE JERNALDER	FORHOLDSTALL
STJØRDAL	123	32	3.84
VERDAL	98	48	2.04
GAULDAL	120	27	4.44
OGNDAL	28	9	3.11
DRIVAVASSDRAGET	239	42	5.69
HÖYLANDET	68	46	1.48
	676	204	3.31

Fig 13

Et annet interessant poeng er det at vi i Nord-Trøndelag har spor etter en svært gammel samfunnsorganisasjon. Vi møter den i historiske kilder på 800-tallet, men man antar at fylkesorganisasjonen med felles jurisdiksjon går mye lenger tilbake i tid. - Eldre forskere har foreslått at monumentale gravhauger har vært kultsentre innen hver av de fire inntrønderske fylker (Olsen 1926, 270). Dateringen av disse gravhauger har i sin tur vært brukt til datering av fylkesorganisasjonen. Denne hypotesen er for såvidt besnærende, men grunnlaget for arkeologisk tidsfesting er spinkel. Som det har vært påpekt av andre (Sandnes 1967, 14) er to av haugene fjernet, mens tapte funn fra den tredje er brukt i argumentasjonen. Disse haugene kan like gjerne være fra romertid som folkevandringstid eller merovingertid.

Jeg vil for min del tro at samfunnsorganisasjonen i Nord-Trøndelag går tilbake til romertid. Denne perioden må ha vært en svært dynamisk periode. I sammenstillinger av pollenundersøkelser som er gjort i de senere år framstår denne tidsepoken som et gjennombrudd for jordbruket (Hafsten 1987). I denne perioden og folkevandringstid må vi ut fra tradisjonell kronologi tro at bygdeborgene ble anlagt. Disse forteller om ufredstider, men like mye om en sosial organisasjon. I en slik periode er det lett å tenke seg at forsvarssamarbeid har ført til videre samarbeid som til slutt kan ha endt opp i fylkesorganisasjoner og lovfellesskap over et vidt område. - Spredningen av bygdeborger i Trøndelag (24 i Nord-Trøndelag og 4 i Sør-Trøndelag) er interessant ettersom den ser ut til å understreke de forskjeller vi har nevnt ovenfor. Det er først og fremst i den indre del av Trondheimsfjorden vi finner dem, nettopp i de områder vi har spor etter den eldste jernvinna.

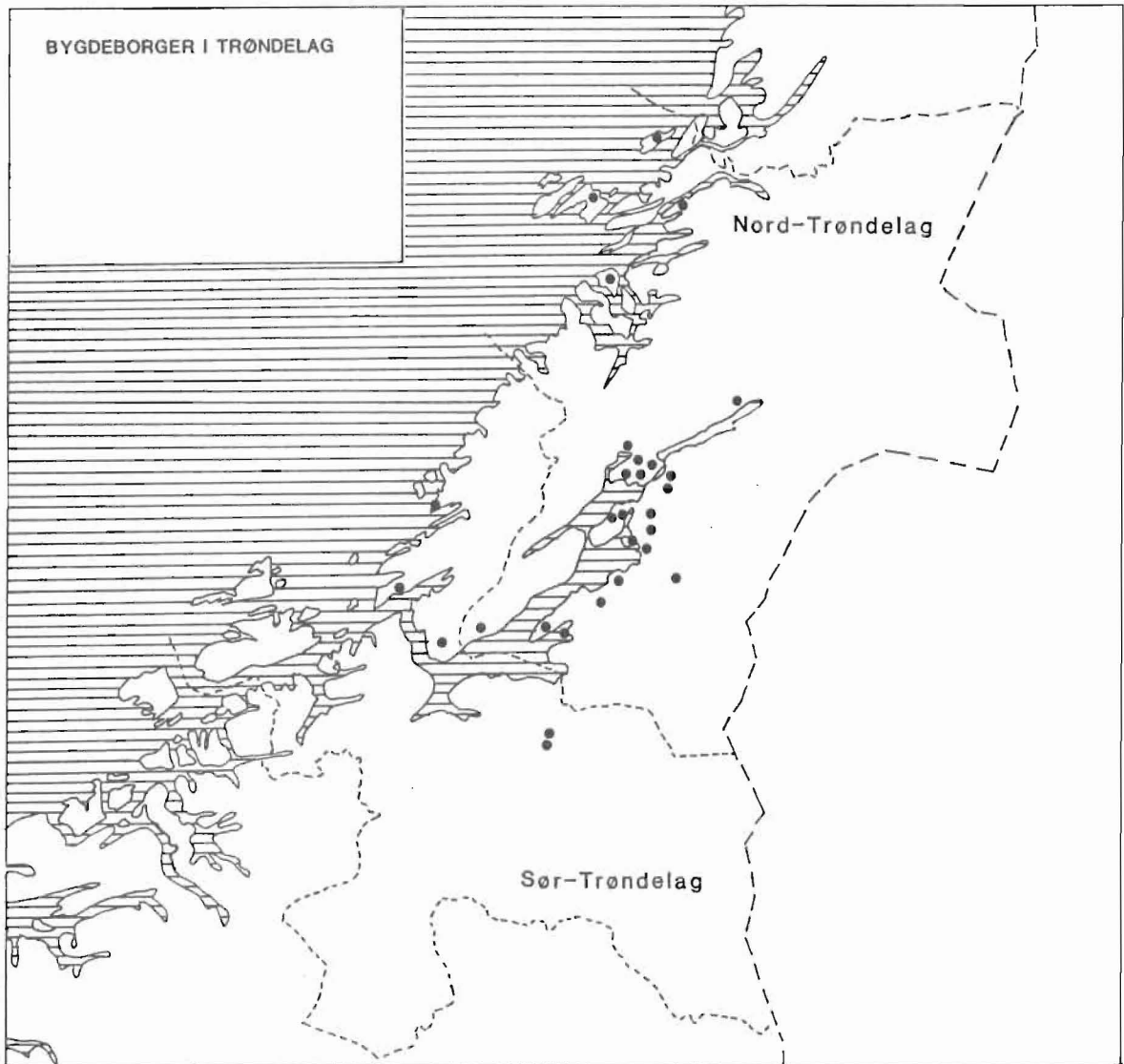


Fig 14

Anlegg av Hegelvolltypen med flere rosettanlegg i drift forutsetter en samfunnsorganisasjon. Produksjonen som nesten må kunne karakteriseres som industrialisert, har en vanlig bonde ikke kunnet makte. Ut fra det vi ellers vet om samfunnsforhold på denne tiden er det vel verken dristig eller originalt å tenke seg en høvding som organisator.

Vi har ovenfor sett at såkalte statusgjenstander er funnet spredt utover Inntrøndelag i romertid. Kan noe av denne velstanden føres tilbake til et overskudd av jern? Det er i det minste fristende å se en slik sammenheng. Jern har, som kapital for en høvding, åpenbare fortrinn framfor jordbruksprodukt ved sin holdbarhet og små krav til lagerplass.

Hvis det er en slik sammenheng mellom jernproduksjon og romerske importfunn, må vi kanskje tenke oss at flere høvdingar har vært involvert ettersom vi har funnet såvel store produksjonsanlegg som rike gravfunn spredt ut over området. Det er allikevel slik at visse gårder skiller seg ut ved at de har gitt langt flere importfunn enn andre. Det gjelder f.eks. Geite ved Levanger og Egge ved Steinkjer og kanskje også Hallem i Verdal.

Hvis vi sammenstiller det vi vet og det vi tror, kan det bli en hypotetisk modell for distribusjon av jern i Trøndelag i eldre jernalder (se fig 15).

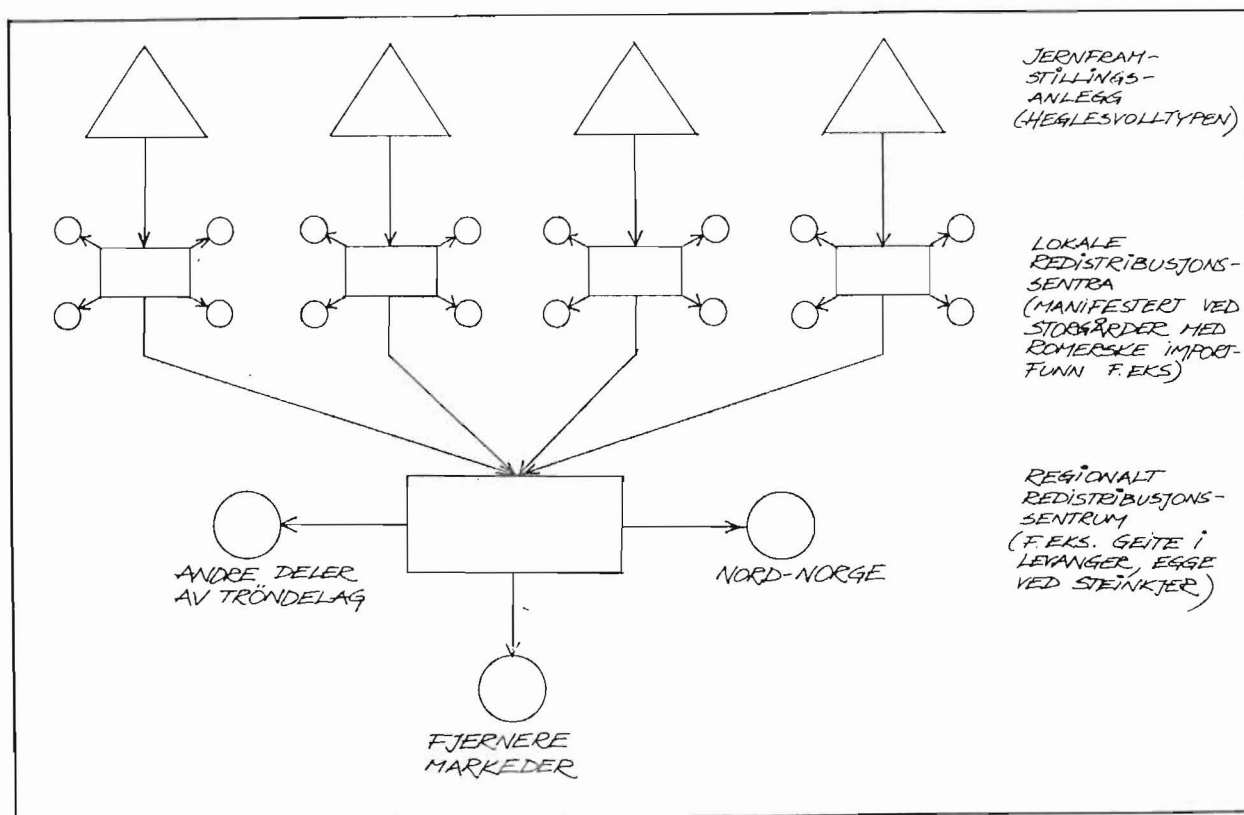


Fig 15

Flere stormenn kan ha organisert jernframstilling i relativt stor målestokk. Jernproduksjonen kan ha fungert innenfor et redistributivt system med den lokale stormann/høvding i sentrum. Jernet har han dels fordelt til avhengige undersåtter, dels kan overskudd ha funnet veien til et regionalt redistribusjonssenter (f.eks. Geite, Egge). En av de tingene man kunne bytte til seg på dette regionale distribusjonssentrum, kan ha vært romerske importsaker.

Det spekulative i denne modellen skal understrekes. Vi må imidlertid slå fast at det har vært en betydelig "etterspørsel" etter jern i Trøndelag i eldre jernalder, noe som åpenbart skyldes en jordbruksekspanasjon. Fra deler av Trøndelag som selv produserte jern, må jern ha blitt omsatt til de deler som ikke produserte jern. Kanskje var også Nord-Norge og deler av Vestlandet involvert i en slik handel? Gjennom flere ledd kan til og med jern fra Trøndelag ha nådd langt lenger.

I yngre jernalder er situasjonen slik at de direkte vitnesbyrd om jernproduksjon i det arkeologiske tilfanget er beskjedent. I begge Trøndelagsfylkene er det f.eks. funnet forholdsvis lite smedverktøy i graver. Man har også færre funn av emnesjern/halvfabrikat enn andre landsdeler det er naturlig å sammenligne med.

Det blir en hovedoppgave i årene framover å finne ut om tyngdepunktet for jernframstilling har flyttet fra Nord-Trøndelag til Sør-Trøndelag, slik de første dateringer av anlegg kan indikere. - Det er f.eks. ikke uinteressant i en slik problemstilling av byen Trondheim vokser fram i Sør-Trøndelag.

LITTERATUR

- A.H.Andersen, F.Kaul,
O.Voss 1987: Sjøllandsk jern. Skalk 3/1987
- Farbregd, O. 1977: Archaeological Field Work and Evidence
(The Hoset Project) Now. Archaeological Review
vol.10, 1977.
- Farbregd, O. 1983: Steinringar og tidleg jernvinne i Navlusmarka på
Snåsa.
Nord-Trøndelag historielags årbok 1983.
- Hafsten, U. 1987: Vegetasjon klima og landskapsutvikling i Trøndelag
etter siste istid. Norsk geogr. Tidsskr. 41.
- Leirfall, J. 1968: Liv og lagnad i Stjørdalsbygdene, bd I del II.
- Loadgaard, C. 1962: Myrmalmsmeltinga eller jernvinna. Singsåsboke
- Magnusson, G. 1986: Lågteknisk järnkantering i Jämtlands län.
- Marstrander, L. 1983: Inntrøndelag i romertid. Gravfunn og bosetning
Gunneria 43.
- Marstrander, S. 1956: Hovedlinjer i Trøndelags forhistorie. Viking 1956
- Martens, J. 1982: Recent Investigations of Iron Production in Viking
Age Norway. Norw. Archaeological Review 15
- Mørkved, K. 1967: Myrmalm og blæsterplasser i Nord-Trøndelag.
Manuskript i Vitenskapsmuseets arkiv
- Olsen, M. 1926: Ættegård og helligdom
- Pliener, R. 1984: Die Latènezeitliche Eisenverhüttung und die Unter-
suchung einer Rennschmelze in Msec, Böhmen.
Památky archeologické LXXV.
- Sandnes, I. 1967: Trøndelags eldste politiske historie. Historisk
Tidsskrift bd 46
- Serning, I 1979: Prehistoric Iron Production. Iron and Man in
Prehistoric Sweden. Ed.H. Clarke
- Solem, T. 1985: Pollenanalyse. Pollenanalytisk arbeid i forbindelse
med jernvinna på Heglesvollen. Frå malm i myra til
jern i smia.
- R. Tylecote 1987: The early history of metallurgy in
Europe, London-New York.
- V. Wedberg 1984: Här gjordes äldsta järnet. Populär
arkeologi nr. 1, 1984. Lund.

Arne Espelund:

DE LANGE LINJER I JERNETS HISTORIE

Det er ikke nytt for arkeologer at jernet har spilt en meget viktig rolle som redskapsmateriale. Det startet i Lilleasia ca. 1500 BC, i vår kulturkrets ca. 400 BC. Mens mange andre folkeslag i en viss grad gikk over fra bruk av stein til bronse og seinere til jern, ser det ut til at våre forfedre gikk nokså direkte fra stein-, (evnt. bein- eller tre-) til jernredskap. Det er også en forskyvning i bruksområde. Først var jernet bare i bruk for redskap, men i nyere tid er det etter hvert også tatt i bruk som konstruksjonsmateriale.

Jernet holder fortsatt plassen som det viktigste bruksmetallet. I våre dager blir det supplert med aluminium, i bruk i om lag 100 år.

Hva gjelder metall for redskap, så er jern og stål fortsatt meget viktige råmaterialer. Det er som konstruksjonsmateriale at jernet har fått sterke konkurrenter, både aluminium, plast og betong. Dernest har tre fortsatt en sentral posisjon. I Norge forbrukes i dag ca. 700 kg stål per år, et tall som er typisk for i-landene. I u-land kan nok forbruket ligge på rundt 10 kg per år. Det er karakteristisk at vi bruker stål i plater og profiler fra en leverandør, mens brukte biler kanskje er det viktigste for en landsbysmed i Afrika. Forskjellen i forbruk og gjenbruk sier mye om ulikheten.

Rekkefølgen gull - kobber - (bronse) - (bly) - jern - aluminium står for en kjemisk systematikk, som merkelig nok knapt er utnyttet i kjemiundervisningen. Gull var nok kjent for urmenneket, fordi det forelå i gedigen tilstand og var lett synlig. Kobber fantes på visse steder, men stort sett er kobber- og spesielt bronsegjenstander et resultat av smeltemetallurgisk virksomhet. Jern var bare tilgjengelig som meget sjeldne meteoritter. (Meteorittjern inneholder alltid noe nikkel, som er en indikator på stellar opprinnelse). Det uedle metallet aluminium var det første som krevde innsikt i kjemi og elektroteknikk, og ikke lot seg framstille ut ifra empiri.

Mens vi for bronsegjenstander må regne med muligheten for flere gangers omsmelting og gjenbruk, fikk jern og stål i eldre tider alltid fastlagt sin kjemiske sammensetning ved framstillingen. Det var bare mulig ved etterbehandling å foreta en viss karburisering (før kalt oppkulling) av et tynt overflateskikt. På den annen side var den metalliske delen av jerngjenstander framstilt ved de gamle metodene meget ren. I motsetning til gjenstander av kobber og bronse er en rekke stoffer som oppgis ved analyser av jern til stede som slagginneslutninger. Disse trekkene er meget viktige, når man vil studere proveniens.

Hvis vi ser på utviklingen av metallbruken, spesielt av jern og stål, er den mer eller mindre jamn, altså et resultat av bl.a. mekanisering, slik vi kan konstatere for spinning, veving og flatbrødbaking? Eller har det foregått noen prinsipielt viktige endringer i tillegg? Svaret er ja: Den store produksjonsveksten bygger på at jern og stål nå framstilles i flytende tilstand.

Oppskalering av reaktorene, hurtigere omsetning og mekanisering forutsetter at det er flytende stoffer som behandles. Selv om moderne stålframstilling foregår indirekte i minst to ulike høytemperatur-reaktorer, kanskje med 5 trin som følger hverandre, har det foregått en prosessteknisk forenkling. Litt skjematisk kan de to prosessene framstilles slik:

Lavteknisk jernframstilling:

Malmen blir først røstet på et åpent bål.

Røstet malm blir redusert i fast tilstand i blesterovn til smibart jern. Dette kaller vi direkte jernframstilling. Ved denne prosessen skilles slaggen ifra i flytende form.

Det framgår av andre foredrag at den prosessen som foregår i en blesterovn består av flere trinn, selv om den drives i samme reaktor.

Moderne stålframstilling:

Finknust, anrikt malm blir først agglomerert og oksydert ved sintring eller pelletisering. (Proessen har likhetstrekk med eldre tiders røsting).

Slik "foredlet" malm blir smeltet til flytende råjern i masovn ved en kontinuerlig prosess. Råjernet kan med små endringer i sammensetning brukes som støpegods. For å bli smibart, må overskudd av karbon fjernes.

Råjernet blir raffinert ("fersket") med oksygen gass ved en satsvis prosess i en konverter. Mot slutten foretas såkalt des-oksydasjon, d.v.s. fjerning av overskudd av oksygen. Flytende stål blir tappet og støpes ut i en form, slik at det egner seg for valsing.

En kan derfor si at lavteknisk, direkte jernframstilling foregikk i små reaktorer og førte til liten produktivitet, mens moderne, høyteknisk, indirekte jernframstilling foregår i store reaktorer med stor produktivitet.

Metallurger er vant til å tenke i oksygenpotensialer, eller trykk av oksygen i likevekt med den fasen som inneholder jernet. Verdiene er så små at vi må forenkle skrivemåten til potenser av tallet 10. 10^2 står for $10 \times 10 = 100$, 10^{-2} for 0.01, 10^{-8} for 0.00000001. Vi må under den verdien for å oppnå metallisk jern, noe vi oppnår med CO/CO₂ -blandinger. Tegner vi opp prinsipielt de to alternative prosessveiene ved direkte og indirekte jernframstilling, får vi dette enkle diagrammet:

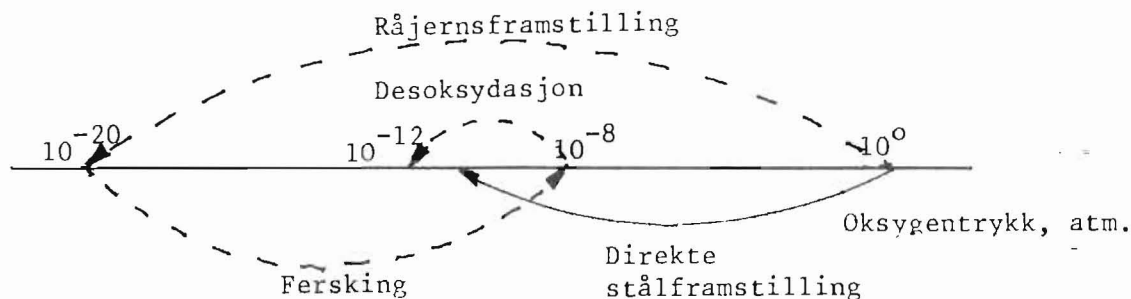


Fig. 1. Prosessgangen ved direkte og indirekte jernframstilling, skjematisert.

For å få med fler detaljer og studere utviklingen over tid kan vi vende oppmerksomheten til et diagram, utviklet av Verein deutscher Eisenhüttenleute, der abscissen er årstall og den tykke linjen viser utviklingen av årsproduksjonen. Legg merke til at årstallene ikke er plassert lineært, de er trengt sammen i eldre tid, og utvidet i moderne tid, nettopp for å få fram de viktige sprangene i teknologisk utvikling.

Det som ovenfor var to prosesser blir nå til tre om man ser på jern og stålframstilling over tid:

1. Lavteknisk, direkte jernframstilling. Råmaterialet var lett redusibel myrmalm eller jordaktig sideritt, limonitt el. likn. Den produserte jern-luppen ble bearbeidet med smiing. I vårt land ble denne teknikken brukt siste gang på 1850-tallet.

2. Framstilling av råjern i masovn. Råjernet ble fersket til stål ved knaing i fast, rødvarm tilstand i såkalte tysksmide, Lancashireprosess eller ved puddel-metoden. Dette var vår lysende jernverksperiode, som begynte ca. 1600 og utviklet seg til å omfatte et 30-tall verk plassert ved fossefall. Vasskraften ble brukt til å drive blåsebelgene for masovnene og til hamrene i hammersmia. I den kontinuerlig drevne masovnen kunne en bruke bergmalm. Våre masovner brukte trekol, ingen ble omstilt til bruk av koks, en prosess som ble utviklet i England sist på 1700-tallet.

3. Framstilling av råjern i masovn, fulgt av fersking i flytende tilstand (såkalt flusstål). Henry Bessemer oppdaget at en kunne lage stål av råjern ved å blåse luft gjennom smelten. Det fulgte mange kvalitetsproblemer med Bessemers prosess, som imidlertid i stor grad ble løst da den basiske (kalkmettede) prosessen som bærer Sir Gilchrist Thomas' navn ble innført i 1880-årene. Norge fulgte ikke med i denne utviklingen, som imidlertid ble grunnlaget for den enorme utviklingen av industriområdene i Midt-England, Ruhr, Saarland, Schlesien, Sør-Belgia og Nord-Frankrike.

(En kan kanskje si at vi indirekte fikk del i denne teknologien ved et kobberverk som Røros, der bruk av koks og en konverterteknikk tilpasset kobberets metallurgi ble innført i 1880-årene).

En bør være oppmerksom på at kvalitetsproblemer knyttet til fosfor har spilt en stor rolle: Fosfor fører til sprøhet i stål ved lave temperaturer. Fosfor reduseres ikke i særlig grad i den lavtekniske direkte prosessen, mens det reduseres inn kvantitativt i masovnen. De norske jernverkene måtte basere seg på mest mulig fosforfattig malm, fordi en ikke kunne fjerne fosfor ved fersking ved knaing i luft. Først med Thomasprosessen kunne en fjerne en viss del fosfor.

Alt annet som har skjedd med produksjonen av jern og stål er modifikasjoner: bruk av rent oksygen i stedet for luft ved konvertering, råjernframstilling i elektrisk ovn o.s.v.

Det er imidlertid meget interessant å se at det fins nær sagt tusenvis av forsøk på å lage en moderne, kontinuerlig prosess, som gir stål direkte. "Historien gjentar seg". Noe gjennomslag for gode alternativer til masovnsmelting er ikke utviklet ennå. Men det er et stort behov for alternativer for den "nye" verden, slik at de ikke må bygge opp industrisamfunn, som de vi kjenner fra Sheffield og Manchester, Dortmund og Bochum.

Hva med adjektivene enkel, evnt. primitiv, kontra komplisert?

Jeg vil hevde at moderne stålframstilling på de premissene som er gitt i et moderne industrisamfunn er enklere enn våre forfedres prosess. Da forutsetter jeg at dagens hjelpemidler er til stede. Utviklingen av de tre eller fire typene av ovner og den driftspraksis som vi kan ane konturene av i det før-industrielle Norge krevde systematisk arbeid og stor kunnskap. Å framstille en luppe i egnet format, med rett analyse og egnet for smiing til høyt verdsatte produkter krevde en meget kvalifisert drift av de - ytre sett enkle - blesterovnene. Dette lar seg begrunne fra en metallurgisk side. Noe av hensikten med dette kurset er å formidle nettopp dette.

3-1-1988

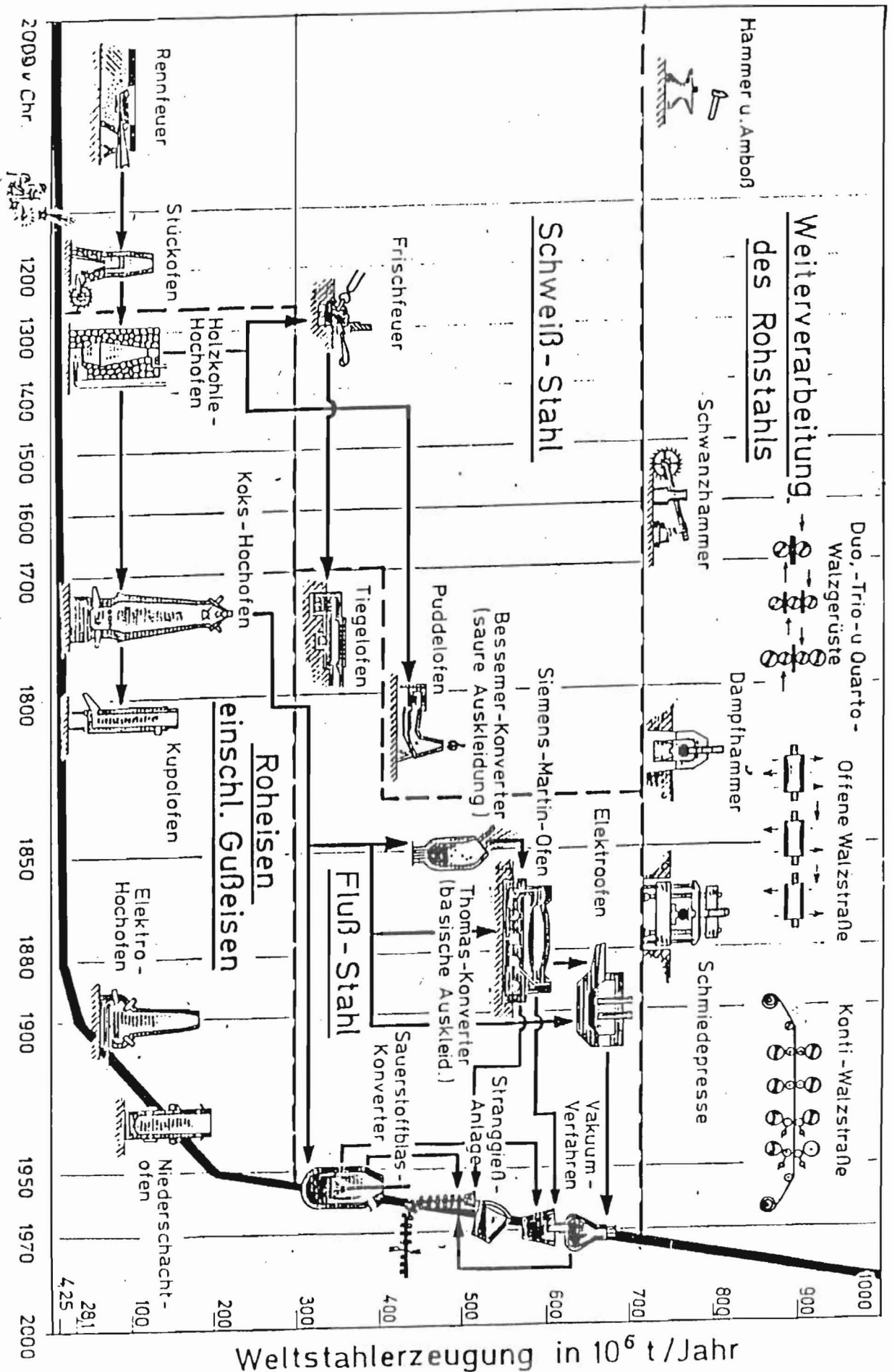


Fig. 2. Utvikling av prosesser og produksjonen av jern og stål.
Etter Verein deutscher Eisenhüttenleute.

Arne Espelund

HVA ER JERN OG STÅL?

Kort innføring i metallurgisk bakgrunn.

Jern og stål brukes som begreper om hverandre. Jern brukes i alle fall om grunnstoffet Fe og i sammensatte ord, slik som "jernvinna" og "jernbane". Stål brukes om legeringer, f.eks. rustfritt stål. En smed skjelner mellom jern, som er mykt og ikke herdbart, og stål, som blir hardt ved bråkjøling i vann. Han vet at egenskapene i første rekke beror på forskjell i karboninnhold. Det bløte jernet inneholder under ca. 0.2% karbon, det herdbare stålet er levert med karbon og inneholder over 0.5% C. Bare en forskjell på 0.5 % kan gi store forskjeller i egenskaper.

Metallurger bruker i dag stål som ord for alle smibare legeringer. Arkeologer har motsatt ordbruk. Situasjonen stål - jern kan minne om "sild og fisk".

Ved lavteknisk jernframstilling ble det normalt framstilt så å si rent, bløtt jern i fast tilstand. En mindre del ble omvandlet til stål ved å tilføre karbon. Såkalt karburisering kunne foregå ved at jern ble lagt inn i en masse av glødende trekol.

På den annen side leverte masovnene, utviklet på 1600-tallet, et flytende produkt med alt for høyt karboninnhold. Råjern med 4% karbon var sprødt, og ble betraktet som "sykt". For å få et herdbart stål måtte en senke karboninnholdet ved såkalt fersking ("gjøre frisk"). Ved denne prosessen ble jernet knadd i rødvarm tilstand ved tilgang på oksygen, slik at overskuddet av karbon unnvek som CO-gass.

Siden midten av 1800-tallet har flytende råjern blitt fersket til flytende stål, før endelig utstøping. (Disse prosessene er kort presentert i kapitlet "De lange linjer i jernets historie" og det er foretatt noen beregninger i "Kjemi ved jernblestring").

For å kunne oppfatte noen av egenskapene hos jern og stål må vi først godta at faste stoffer normalt er krystalline, d.v.s. bygd opp av atomer ordnet i et regelmessig tredimensjonalt mønster. Nesten alle metaller opptrer med et eneste, relativt enkelt krystallgitter, hvor det vi kaller enhetscellen er en rettvinklet og likesidet terning med sidekant ca. 0.0000003 mm. Synlige krystaller er bygd opp av en meget stort antall av slike enhetsceller.

Jern er et av de få unntakene fordi dette grunnstoffet opptrer med flere krystalline former, såkalte modifikasjoner. Lavtemperatur-formen, kalt alfa-jern eller ferritt er kubisk romsentrert opp til 910° C. Den minste enheten er som en terning med atomer i alle hjørnene og et atom i midten. Ved videre oppvarming omorganiseres atomene til et kubisk flatesentrert gitter, kalt gamma-jern eller austenitt. Denne formen har atomer i alle hjørnene og i tillegg et i midten av hver sideflate. Ved 1401° C foregår en ny omorganisering til såkalt delta-jern. (Gitteret er imidlertid det samme som i alfa-jern). Endelig smelter jern ved

1535°C. De to typene av gitter som fast jern opptre i er vist i figur 1. Det er lett å simulere dem med f.eks. appelsiner i en kasse.

Enhetscellene er organisert sammen i langt større, regelmessig oppbygde gittere, som blir kalt korn. I kornene har enhetscellene samme orientering. Slike korn kan vi ofte se på bruddflater med det blotte øye. Under mikroskopet vil korn med ulik orientering på en planslipt flate skjernes fra hverandre på grunn av en viss forskjell i sjattering og fordi det ved overgangen fra et korn til det neste er en markert grense.

La oss si at vi holder på med smiing ved en temperatur over 910°C. Materialet vårt har en normal kornstruktur, vist i fig. 2 a. Ved bearbeidingen blir kornene deformert (fig. 2b). Materialet er i en spenningstilstand. På korn grensene kan det oppstå nye små korn, som er spenningsfri, som vist i fig. 2 c. Vi sier at det har foregått rekrySTALLISASJON, et fenomen som er typisk for hva vi kaller plastisk forming ved varmbearbeiding.

Smir vi ved vesentlig lavere temperatur, får vi en tilsvarende deformasjon av kornene, uten at nye, spenningsfri korn oppstår. Materialet blir meget hårdt. Vi kaller dette kaldbearbeiding, som fører til fastning. Et typisk kaldbearbeidet produkt er vanlige spikere, før kalt trådstift. Den er meget fastere og lettere å slå inn enn en varmsidd spiker.

Varmer vi en vanlig spiker, så inntre rekrySTALLISASJON, og den blir myk.

(Et annet eksempel er de norske kobbermyntene, i bruk til ca. 1980. Disse myntene hadde en hardhet og slitestyrke, som skyldtes at fastning inntre da preging ble foretatt. Ved moderat oppvarming ble myntene ganske myke igjen, omlag slik de var før preging ble foretatt).

Den fastheten, som oppstår ved kalddeformasjon, kan vi få bestemt ved hardhetsmåling: et legeme med definert geometri (kule eller pyramide) blir trykket inn, og størrelsen på avtrykket måles. Andre former for karakterisering er ved strekkprøving. Et typisk strekkdiagram for bløtt stål er vist i fig. 3. Når lasten øker, strekker materialet seg først elastisk. D.v.s. at prøvestaven inntar sin opprinnelige form når lasten tas bort. Deretter inntre plastisk formendring: en varig endring av dimensjonene. Så øker styrken, fordi materialet kalddeformerer. Lenge før staven ryker har en viss innsnevring funnet sted, slik at fastheten, målt per mm² tverrsnitt, stadig øker.

Det vi kaller rekrySTALLISASJON foregår ved temperaturer, som avhenger både av materialsort og graden av deformasjon.

Tilbake til jern og stål. Hittil har vi så å si bare tatt for oss hva som kan foregå for det rene metallet ved deformasjon. Når karbon tilsettes, opptre mange nye muligheter. Mye er knyttet til ulike løsningsforhold i de to krystalltypene alfa- og gamma-jern: Alfa-jern løser meget små mengder karbon, mens gamma-jern løser opp til ca. 2 vekt%. Disse karbonatomene, som er meget mindre enn jernatomene, går inn på tom plasser i gamma-gitteret,

mellom jernatomene.

Når slikt karbonholdig gamma-jern smis, er det meget hårdere enn tilsvarende karbonfritt materiale.

Av det såkalte jern-karbon-diagrammet fig. 4 kan vi se hvordan løseligheten endrer seg med temperaturen. Karbon er også med på å gjøre gammajern stabilt over et større temperaturområde, helt ned til 732°C. Vi sier at austenittområdet utvides.

Når gammajern med oppløst karbon avkjøles og blir ustabilt, vil oppløst karbon forsøke å unnsnippe. Det fins to alternative måter å skille ut karbon på: som grafitt (rent C) eller som jernkarbid Fe_3C (cementitt). I stål opptreer alltid det siste. Det inneholder mye mer karbon enn utgangspunktet gamma-jern med f.eks. 0.9% C, nemlig 6.7% C (regn ut ifra atomvekter!). Det oppstår derfor en blanding av karbonfritt alfa-jern og jernkarbid Fe_3C . Det er oftest i form av lameller, som kan gi en lysvirkning under mikroskopet, som minner om "årringene" i perlemor. Dette strukturelementet kalles derfor perlitt og er vist i fig. 5.

Mens hårdheten for alfajern kan gå opp i 100 Vickersenheter (hårdhetsmåling med inntrykk av en pyramide) er den for cementitt hele 10 ganger så stor. Cementitt sørger altså for en viss armering av den bløtere ferritten. Et vanlig karbonstål består derfor av minst to komponenter: en myk og en hard.

Her kunne en kanskje håpe at en første innføring om jern og stål kunne stoppe. Men det har seg slik, at ved hurtig avkjøling rekker ikke karbon-atomene i gammajern å innta sin stabile form i Fe_3C og danne perlitt sammen med alfajern. I stedet går den kubiske gammastrukturen over til en svakt tetragonal krystall, som er nesten lik ferritten. Forskjellen fra ferritt er at karbonet er beholdt løst i gitteret (tvangsløst). Den er ustabil, meget hard og har fått navnet martensitt. Det er martensittdannelse som foregår ved herding.

Legg merke til at martensitt opptreer bare ved hurtig avkjøling av karbonholdig austenitt.

For skjærende verktøy, slik som kniver og økser, er martensitt uovertruffet i hardhet for selve eggmaterialet. Men martensitt dannet ved bråkjøling i vann er også meget sprød. Derfor foretar en dyktig smed en moderat varmebehandling etter at f.eks. en meisel er smidd til sin endelige form og er blitt herdet. Det er ofte nok å la varme i tangen spre seg framover mot eggen. En blank flate vil derved få såkalte anløpsfarger, ofte i gult eller blått.

Den vanlige måten å lage egg-redskap på var å smi herdbart karbonstål sammen med ikke herdbart jern. Som kjent var dette den vanlige måten å lage gode kniver og økser på. Dette ble kalt essesveising, på svensk vällning (smlgn. språklig eng. welding). For å få materialet godt sammensveiset, uten noen svakhet i overgangen mellom de to typene av materiale, måtte flere teknikker kombineres. De to materialene måtte varmes opp til egnet temperatur, oksyd på overflaten måtte fjernes med et flussmiddel (gjærne sand, i dag ofte boraks) og de to materialene

føyes sammen ved kraftig smiing på ambolten.

Et vanlig stål kan inneholde andre stoffer enn karbon. Kobber, nikkel, og kobolt under 1% påvirker ikke strukturen nevneverdig (disse stoffene kan forekomme i forhistorisk jern). I moderne stål er silisium og mangan viktige legeringsemner.

Svovel vil sammen med jern, eventuelt også jernoksyd føre til en lavtsmeltende, ikke-metallisk fase, som legger seg på korngrensene og bryter opp sammenhengen i materialet. Det er som om jernet flises opp ved smiing. Dette kaller vi rødskjørhet. Inntil et visst innhold kan svovel gjøres uskadelig med mangan. Mangansulfid er i fast tilstand opp til ganske høye temperaturer og kan ikke skade materialet, slik som jernsulfid gjør.

Fosfor spiller en tosidig rolle. På den ene siden kan det være tjenlig som legeringsemne for eggstål fordi det øker hårdheten. På den annen side er fosforholdig stål meget sprødt, især ved lave temperaturer. Fosforholdig stål kan derfor være meget anvendelig for skjærende verktøy, men bare når det er essesseiset sammen med "rent" jern, evnt. også et karbonholdig jern

Virkningen av fosfor overfor ferritt og austenitt er den motsatte av karbon: fosfor innskrenker austenittområdet og utvider ferrittområdet. Se figur 6.

For å få legert jern med fosfor trengs en meget fosforrik slagg. Det oppnår man ikke ved bruk av de typer av myrmalm, som vi har arbeidet med.

Til slutt er det grunn til å si noe om hvilke grunnstoffer som kan opptre i metallisk form, fritt eller løst i jernfasen, eller alternativt som oksyd, silikat el. likn. I fig. 7 er vist hvor grensen for overgangen fra oksyd til metall foregår ved en tilfeldig valgt, men ikke utypisk temperatur: 1000°C. Kobber- og blyoksyd reduseres meget lett, likeens fosfor, dersom en innstiller seg slik at jernoksyd skal reduseres. For å få nevneverdig manganreduksjon, må en gå til vesentlig lavere oksygenpotensialer enn for jernoksyd. Mangan som rapporteres i arkeologisk jern, funnet f.eks. ved kjemisk totalanalyse, er derfor høyst sannsynlig i form av slagginneslutninger, som silikat. Slike inneslutninger vil variere usystematisk fra gjenstand til gjenstand, og fra sted til sted i prøven. Det samme kan en si om bly, som lett reduseres til metall, men ikke legerer seg med jernfasen.

Det er en vesentlig forskjell mellom jern framstilt direkte ved en lavteknisk prosess, og moderne handelsstål, framstilt indirekte med minst tre trinn: råjernsframstilling i masovn, fersking og desoksydasjon i stålovn. Jern framstilt ved en lavteknisk prosess er normalt meget rent, men det kan inneholde større slagginneslutninger. Oftest er de langstrakte etter smiing og spiller liten rolle for fasthetsegenskapene langsetter prøvestykket (kan minne om treski).

Moderne stål har ingen større slagginneslutninger, derimot en hel "melkevei" av oksydiske inneslutninger etter desoksydasjonen. Dette er mikroskopiske partikler, spesielt av SiO₂.

Meningen med denne korte innføringen er å skape en ramme for det praktiske arbeidet under kurset, og å gi deltakerne stoff de kan bruke siden, enten ved eget arbeid eller i en eller annen form for samarbeid med metallurger.

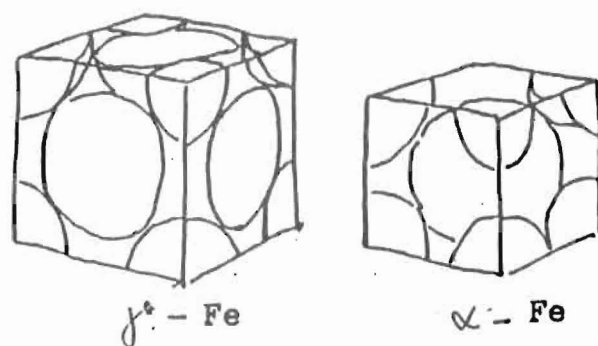


Fig. 1. Alfajern (ferritt) og gammajern (austenitt) skjematiskert.

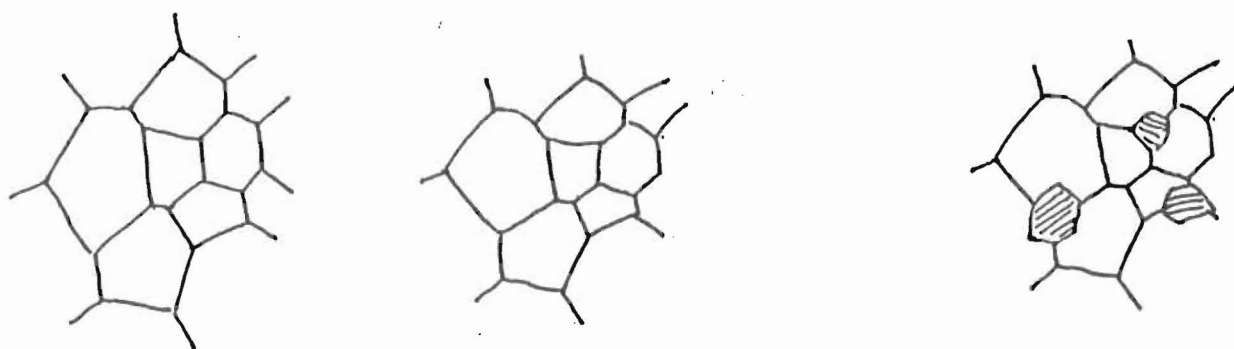


Fig. 2. Kornstrukturer, slik de kan sees på en planslipt og polert flate i et mikroskop. a) utglødd tilstand. b) deformerte korn
c) nye, spenningsfrie korn opptrer på korngrensene.

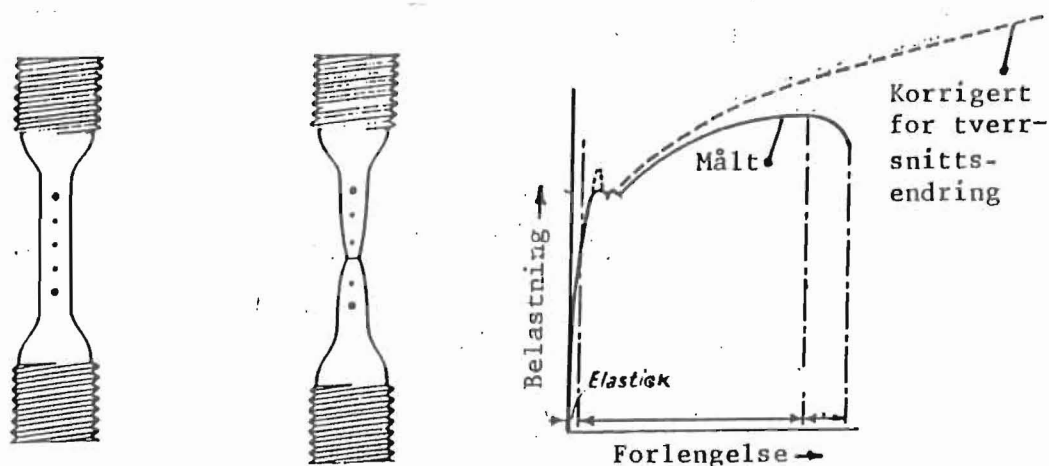


Fig. 3. Strekkdiagram for et vanlig bløtt stål.

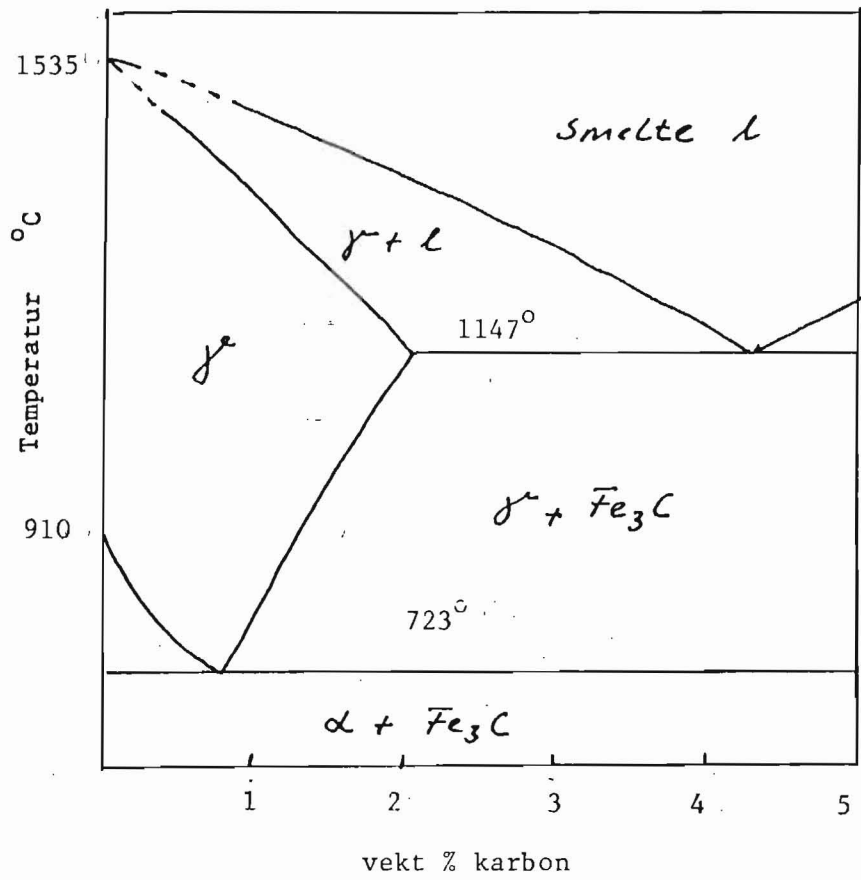


Fig. 4. Tilstandsdiagrammet jern - karbon (eg. Fe-Fe₃C), litt forenklet. Til 5% C.

Når gammajern med oppløst karbon avkjøles og blir ustabilt, vil oppløst karbon forsøke å unnsnippe. Det fins to alternative måter å skille ut karbon på: som grafitt (rent C) eller som jernkarbidet Fe_3C (cementitt). I stål opptrer alltid det siste. Det inneholder mye mer karbon enn utgangspunktet gamma-jern med f.eks. 0.9% C. Det oppstår derfor en blanding av karbonfritt alfa-jern og jernkarbid med 6.67%C. Det er oftest i form av lameller, som kan gi en lysvirkning under mikroskopet som minner om "årringene" i perlemor. Dette strukturelementet kalles derfor perlitt og er vist i fig. 5.

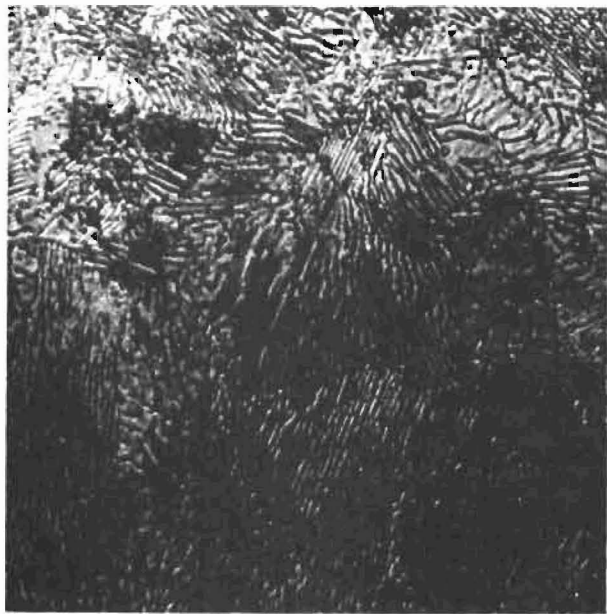


Fig. 5 a PERLITT (630x).

Sammensetning: Fe-0.8%C.

Behandling: Varmebehandlet 1 time ved 800°C , avkjølt i ovn.

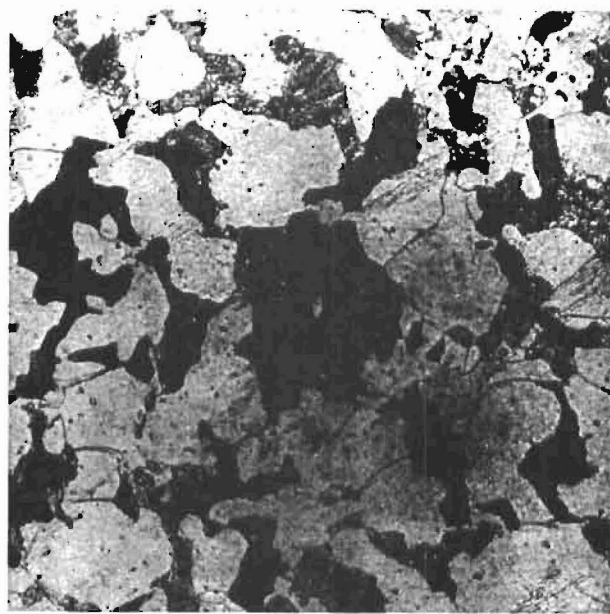


Fig. 5 b FERRITT-PERLITT (500x).

Sammensetning: Fe-0.35%C.

Behandling: Avkjølt i ovn fra 870°C til romtemperatur.

Mens hårdheten for alfajern kan gå opp i 100 Vickersenheter er den for cementitt hele 10 ganger så stor. Cementitt sørger altså for en viss armering av den bløtere ferritten. Et vanlig karbonstål består derfor av minst to komponenter: en myk og en hard.

Her kunne en kanskje håpe at en første innføring om jern og stål kunne stoppe. Men det har seg slik, at ved hurtig avkjøling rekker ikke karbon-atomene i gammajern å innta sin stabile form i Fe_3C og danne perlitt sammen med alfajern. I stedet blir den kubiske gamma-strukturen svakt deformert. Den kubiske gammastrukturen går over til en svakt deformert tetragonal krystall. Den er ustabil, meget hard og har fått navnet martensitt. Det er martensittdannelse som foregår ved herding.

Legg merke til at martensitt opptrer bare ved hurtig avkjøling av karbonholdig austenitt.

For skjærende verktøy, slik som kniver og økser, er martensitt uovertruffet for selve eggmaterialet. Men martensitt dannet ved bråkjøling i vann er også meget sprø. Derfor foretar en dyktig smed en moderat varmebehandling etter at f.eks. en meisel er smidd til sin endelige form og er blitt herdet. Det er ofte nok å la varme i tangen spre seg framover mot eggen. En blank flate vil derved få såkalte anløpsfarger, ofte i gult eller blått.

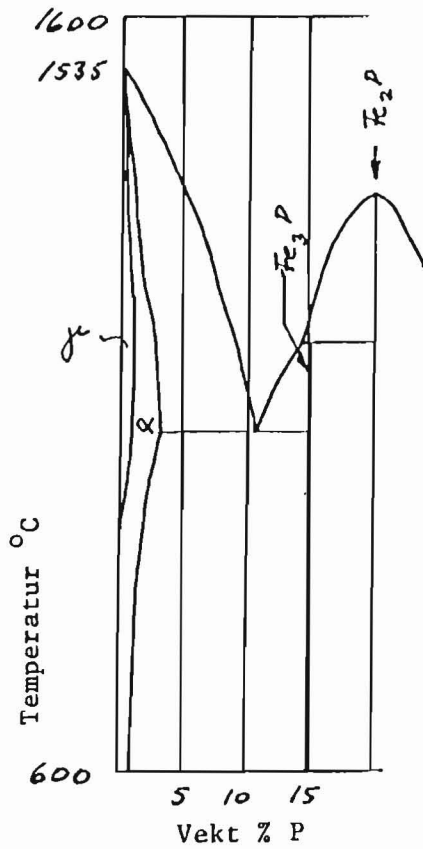


Fig. 6. En del av fasediagrammet jern - fosfor.

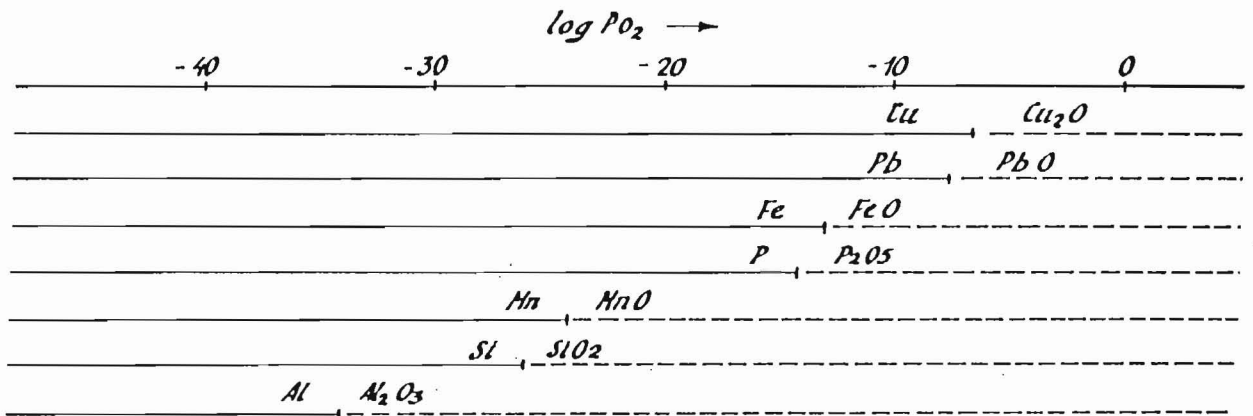


Fig. 7. Oksygenpotensialer ved overgangen mellom oksyd og metall ved gitt temperatur 1000° C.

Arne Espelund

LITT KJEMI VED JERNBLESTRING, BEREGNET PÅ ARKEOLOGER.

Innledning.

Det kan virke som en umulig oppgave å få arkeologer til å bruke kjemiens tegnspråk, tenkesett og beregninger etter et ganske kort kurs. Kjemi er jo et meget stort fagområde.

På den annen side må arkeologer arbeide med mange typer av funn, der kjemikunnskap ikke bare er ønskelig, men rett og slett helt avgjørende for å foreta rimelig gode tolkninger. Anlegg for jernframstilling er av denne typen. Vi er vel alle enige om at de står for en viktig type av funn, fordi de forteller om grunnleggende produksjonsforhold og er basert på stor kunnskap. For tolking av et samfunn må "jernvinna", særlig i dens tidligste faser, kunne supplere våre oppfatninger ut over hva vi kan slutte ut ifra f.eks. gravfunn.

Noen ganger blir tolkningen av et funn overlatt til kjemikere. Jeg mener at en distansering fra utgravingsresultat kan være meget farlig. Eksperimentelt arbeid utført av rene naturvitere eller teknologer kan også lett bli helt irrelevant. Det er lett for meg å nevne eksempler av slik art.

Det forekommer også at arkeologer bruker kjemiske vurderinger, som de ikke forstår innholdet eller rekkevidden av. Eller kjemiske analyser blir presentert uten noen som helst form for systematisering eller forsøk på konklusjoner. Det skaper et meget dårlig forhold til dem, som utfører møysommelig analysearbeid på laboratoriet og som med rette kan forvente at arbeidet skal ha en mening.

Kjemi som fagområde har også sin begrensning overfor sammensatte prosesser, slik som lavteknisk jernframstilling. Kjemikere har liten trening i å bruke temperaturen og gasstrykket av oksygen som variable, slik det er i forbrenningsprosesser. Fysikalske fenomen som reduksjon og faseskille er også fremmed for dem, likeens den heterogene naturen hos de fleste faste stoffer, slik som metaller. Dette er sentralt i metallurgien, som står for en tolkning av mer sammensatte prosesser og produkter, som har med metaller å gjøre på en eller annen måte. Også materialegenskaper og hvordan de kan påvirkes er sentrale emner i metallurgien. Metallurgien har både et makro-perspektiv, oftest kalt prosessmetallurgi (kjemisk metallurgi, metallurgiteknikk), og et mikroperspektiv, ofte sammenfallende med fysikalsk metallurgi. En kunne også bruke adjektivene primær- og sekundærmellallurgi.

Når jeg allikevel velger kjemi som emne, er det fordi vi må starte et sted, og fordi prosessmetallurgien er helt avhengig av det som er utviklet innen kjemi som fag. Det er først og fremst kjemien som har endret denne delen av metallurgien fra rent håndverk til en moderne vitenskap.

Det periodiske system - kjemiens katékisme.

I antikkens Hellas ble det arbeidet mye med hvordan materien var oppbygd, såvel rent fysisk som med å gi forslagene en filosofisk ramme. Begrepet atomos = udelelig stammer fra denne tida. Stoffer som ikke lot seg dele opp blir fortsatt kalt grunnstoffer. De kjente til 9 grunnstoffer: syv metaller og to ikke-metaller: Gull Au, sølv Ag, kvikksølv Hg, kobber Cu, jern Fe, tinn Sn, bly Pb; karbon C og svovel S. Oldtidsmetallene ble knyttet til symbolene for de 7 bevegelige himmellegemene. Vi bruker fortsatt symbolene for jern og kobber, (Mars og Venus), nå oftest for mann og kvinne.

Opp gjennom hundreårene ble tallet på grunnstoffer stadig utvidet. Eksempelvis omfattet en liste utarbeidet av franskmannen Lavoisier i 1789 hele 33 grunnstoffer, hvorav 2 senere er fjernet fra listen, nemlig lys og varme, som ikke er stoffer. En meget viktig oppdagelse var identifikasjonen av oksygen som grunnstoff. Det foregikk i 1770-årene, knyttet til navn som svensken Scheele, engelskmannen Priestley og Lavoisier selv.

Det viste seg at mange grunnstoffer når de reagerte med hverandre inngikk i konstante og nokså enkle mengdeforhold. Dermed kunne alle stoffer bli tillagt en relativ vekt, i forhold til et annet stoff. Av gode grunner ble det letteste grunnstoffet hydrogen valgt. Enheten ble satt til 1.0. Nå ble det mulig å sette tall også på de andre grunnstoffene. Når klor forbant seg med hydrogen i saltsyre i en vektmengde på 35 ganger vekten av hydrogen, fikk klor den relative vekten 35. I vann forbant to deler hydrogen seg med en del oksygen, som veide 8 ganger så mye som hydrogenmengden. Dermed måtte den samsvarende vekten for oksygen bli 16.

Slik kunne en ved å gå fra grunnstoff til grunnstoff og finne hva vi kan kalle ekvivalente - likeverdige vekter for hvert enkelt stoff. På den måten ble det bygd opp et helt sett av tallstørrelser. Når tallet er knyttet til det som svarer til minste enhet av hydrogen kaller vi størrelsen atomvekt.

Det har bare skjedd en revisjon av dette systemet. Mer nøyaktig veining har ført til at en i stedet for hydrogen med atomvekt 1 har valgt oksygen med atomvekt 16 som enhet. Med den nye basis blir atomvekten for hydrogen 1.008, når en regner tilbake. Vi kan knytte disse tallstørrelsene til det metriske systemet. 1 gramatom hydrogen veier 1.008 g. Klor har atomvekt 35.457.

Etter hvert kunne kjemikerne stille opp mange grunnstoffer etter hverandre med økende atomnummer. I 1860-åra ble det oppdaget at visse egenskaper gikk igjen etter et syklisk prinsipp. Det var som om stoffene hørte til familier. I tida 1863 - 1867 så det periodiske system dagens lys. Oppdagelsen er tillagt den russiske kjemikeren Mendelejev. I fig. 1 er gjengitt hans system, slik det er utviklet videre fram til våre dager.

I 1869 manglet noen av grunnstoffene. Troen på systemet var

allikevel så stor, at det bare ble satt av åpen plass på de rette stedene. Senere er disse grunnstoffene kommet til. Det er også fylt opp med kunstig framstilte "transuraner", tyngre enn grunnstoff nr. 92 - uran, det siste som foreligger i naturlig tilstand.

Det er en lang rekke ting som har blitt avledet fra det periodiske systemet:

For det første henger det sammen med en atomteori, som går ut på at atomene bygges opp av en kjerne med positivt ladete protoner og nøytrale nøytroner, og et "skall" med like mange elektroner, som kjernen har protoner, slik at atomet som helhet ikke har noen ladning.

Elektronene eksisterer i diskrete energinivåer, med maksimalt 2 elektroner i indre skall, 8 i neste, 18 i tredje o.s.v. Det er særlig tallet på elektroner i ytre skall som avgjør hvordan egenskapene er. Eksempelvis har grunnstoffene med alle skall fylte derfor felles trekk. Til denne gruppen hører edelgassene helium, neon, argon og krypton m.m., som er spesielt stabile og ikke danner forbindelser.

Tar vi bort ett elektron og et proton, flytter vi oss til halogenrekken. Fluor, klor, brom og jod har klart felles trekk. Går vi den motsatte veien, kommer vi til alkalimetallene litium, natrium, kalium, rubidium o.s.v., alle nær beslektet i egenskaper. På samme måte er det markert tydelig likhet mellom jordalkalimetallene beryllium, magnesium, kalsium, strontium og barium.

Denne atomteorien har videre gitt oss grunnlaget for bindingslæren. Noen av de mest stabile forbindelsene får vi når et grunnstoff i venstre kolonne forbinder seg med et i høyre kolonne, f.eks. K og Cl til koksaltliknende KCl. Det ene grunnstoffet har et elektron "for mye", og det andre "ett for lite" i forhold til de mest stabile grunnstoffene: edelgassene. Hva vi kaller "valenselektronene" hos kalium og klor kan til sammen utgjøre like mange elektroner som for edelgassene. I dette tilfellet som to atomer Argon Ar. I fast tilstand er KCl bygd opp av positivt ladete K^+ -ioner og negativt ladete Cl^- -ioner. Ioner oppstår når vi tilfører eller fjerner elektroner fra et atom. Navnet ioner ("vandrere") brukes fordi de kan bevege seg i et elektrisk felt og eventuelt avlades ved elektroder under elektrolyse.

Det kreves imidlertid også helt andre bindingsteorier for å forklare slike strukturer som toatomige gasser O_2 , N_2 o.s.v. metalliske forbindelser o.s.v. Det blir ikke behandlet her.

Loven om "enkle og rasjonale indices" fikk vi på grunnlag av rene kjemiske studier. Den førte fram til et formelspråk, slik at stoffer som NH_3 , Fe_2O_3 o.s.v. har en entydig mening. Lenge snakket en om molekyler av slike stoffer. Med studier av strukturene for slike forbindelser, spesielt med røntgendiffraksjon, altså optiske fenomen, har en fått bekreftet formlenes innhold for det faste stoffet. Men det eksisterer ikke noen

enhet av f.eks. Fe_2O_3 , som kan kalles molekyl. For gassene NH_3 eller O_2 har derimot molekylbegrepet fortsatt en mening.

Vær oppmerksom på at ikke alle stoffer kan gis et enhetlig kjemisk tegn. Vi har ikke noen enkel måte å uttrykke salt løst i vann på. Formelspråket passer best for hva vi kaller støkiometriske forbindelser. Visse tillemplinger kan vi få til, slik som for det laveste jernoksydet, kalt wustitt, med formel Fe_{1-x}O , der x er rundt 0.05. Det skrives også " FeO ". Karbon og oksygen løst i flytende stål uttrykkes som C og O. Men disse uttrykkene sier ikke noe om hvor mye som er til stede.

Kjemiske likninger og reaksjoner. Materialbalanser.

Kjemiske likninger kan gi forskjellige utsagn. Hvis vi for eksempel setter opp en likning

$$A + B = C$$

kan den uttrykke det samme som ved vanlig addisjon: $3 + 4 = 7$. Vi er bare opptatt av resultatet, tallene som førte fram til 7 er uten interesse.

Vi kan anvende dette synspunktet for eksempel på likningen



Ut ifra atomvektene i det periodiske systemet kan vi bestemme at de relative mengdene er 12 g karbon som reagerer med 32 g oksygen gass til 44 g CO_2 . Vi sier at 1 mol C reagerer med 1 mol O_2 til 1 mol CO_2 .

En slik likning uttrykker loven om materiens konstans. Den gjelder uavkortet, bortsett fra kjernereaksjoner.

I denne sammenhengen kan det samtidig være hensiktsmessig å innføre molvolumet for gasser. Alle gasser utgjør 22.4 l i hva vi kaller normaltilstanden, d.v.s. 1 atm trykk og 0°C . Om reaksjonen ovenfor foregår ved 0°C , vil 22.4 l oksygen ved forbrenning gi 22.4 l CO_2 .

Ofte vil vi ha med ganske sammensatte reaksjoner i en reaktor å gjøre. Det er da viktig å vite at materiale som går inn er lik materiale som går ut + det som kan ha blitt akkumulert. Vi kan sette opp en likning for hvert grunnstoff som deltar. Det er ofte en fordel å tegne opp en boks, som representerer reaktoren, og med piler vise hva som skjærer den "grensen" som boksen utgjør.

Slike beregninger kan bli ganske enkle for sanne kontinuerlige prosesser. En kan velge en hvilken som helst tidsramme: et sekund, et minutt, et døgn, eller basere alle beregninger på en viss vektmengde av ett av de inn- eller utgående stoffene. Tegner vi opp en masovn, så er vi særlig interesserte i tallene relativt til 1 tonn produsert råjern.

Eller vi kan lage en tilsvarende beregning for en satsvis prosess fra begynnelse til slutt.

Til en kjemisk reaksjon kan det i tillegg til stoffmengder også inngå hva vi kaller reaksjonsvarme. Ved siden av en material-balanse, også kalt støkiometri, kan vi sette opp en energibalanse. Energi kan ikke forsvinne, den kan bare endre karakter.

Det blir i denne innledningen overhodet ikke spurt om reaksjonen foregår på denne måten. Vi må hente inn tilleggsinformasjon for å avgjøre hva som foregår: en spontan reaksjon, eller ingen reaksjon.

Denne neste delen av kjemien dreier seg derfor om å finne ut hva som karakteriserer likevektstilstanden i et kjemisk system. Etterpå kan man finne ut hvor det aktuelle systemet er relativt til likevekten: om det er noen reaksjonstendens.

Den aller enkleste form for reaksjon er oppløsning, f.eks. to gasser som blander seg med hverandre, koksalt NaCl som løses i vann, eller karbon som løses i jern. Vi har ikke noe enkelt symbolspråk for å karakterisere denne formen for "reaksjon", men alle vet at dette er spontane reaksjoner, og at vi bare kan separere stoffene igjen ved spesiell behandling. For saltlake kan som kjent inndamping eller utskilling ved krystallisasjon etter nedkjøling være aktuell. For løsning av gasser i hverandre er det ingen varmetoning, mens enkelte andre medfører stor varmeutvikling, f.eks. svovelsyre i vann. Det fins også oppløsningsreaksjoner, som medfører avkjøling. Når salt blandes med snø, kan temperaturen synke til -21°C .

Det er imidlertid mulig også å bruke kjemiske formler og reaksjonslikninger for å karakterisere likevekter. I så fall er begge sider av likhetstegnet av interesse, det er ikke lenger en summasjon, hvor addendene er uinteressante. Ofte skyldes mye av forvirringen i kjemien at en ikke presiserer hvordan symbolene brukes. Det er ikke så rart at studenter og elever kan bli forvirret!

En slik likning kan for eksempel være



Ved den tolkningen vi brukte ovenfor kan vi fortsatt si at "for hvert mol CO som brenner, brukes opp $\frac{1}{2}$ mol O_2 og det dannes 1 mol CO_2 . Dette er det støkiometriske aspektet ved en likning.

Ved en gitt temperatur vil det imidlertid eksistere en relasjon uttrykt ved

$$K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}} P_{\text{O}_2}}$$

der K er en konstant og p-leddene står for gasstrykket av ved-

kommende stoff. Størrelsen kaller vi likevektskonstanten. Den vil være temperaturavhengig, men følger relativt enkle lover.

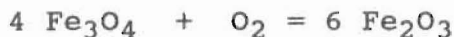
Legg merke til at alle stoffer i likevektskonstanten inngår med potenser, som svarer til tallene i reaksjonslikningen. Foran CO og CO₂ står det 1-tall, og foran O₂ står det 1/2, som svarer til potensen 1/2 eller et kvadratrottegn.

Av dette følger at et visst partialtrykk av oksygen kan uttrykkes ved et gassforhold mellom CO og CO₂, under forutsetning kjent temperatur.

$$p_{O_2} = p_{CO_2}^2 / p_{CO}^2 \times K^2$$

Ved denne formen for tallbehandling må en være forberedt på å regne med meget små og meget store tall. For å forenkle skrive- og regnemåten skriver vi gjerne tallene i potenser: 10² betyr 10 x 10 = 100, 10⁵ = 100 000. 10⁰ = 1, 10⁻¹ = 0.1 o.s.v. Et oksygentrykk i området 10⁻⁸ - 10⁻¹² er det nødvendig å etablere ved jernframstilling, og en må venne seg til å regne med uttrykk i potenser.

I det første tilfelle forelå alle tre stoffene i gassfasen. Skriver vi opp en likning som



altså med et fast jernoksyd som reagerer med oksygen til et annet jernoksyd, kan den fortsatt stå for støkiometri ved omsetning. Vi kan imidlertid også stille spørsmålet: hva slags oksygentrykk er det ved en viss temperatur når begge jernoksydene er til stede? Dette oksygentrykket kan vi realisere ved et blandingsforhold CO/CO₂, som vist ovenfor. På samme måten kan vi behandle de øvrige likevektene Fe₃O₄ - "FeO" og "FeO" - Fe.

Det vi gjør ved denne behandlingen er å dele opp det totale systemet Fe - O - C i to deler, som er ganske håndterbare: et CO-CO₂-O₂-miljø og et Fe-O-miljø. Det fins bare to begrensninger:

1) det kan foregå en annen reaksjon, som våre likninger ikke tar hensyn til. Den mest kjente er "Boudouardreaksjonen", som står for utskilling av sot etter reaksjonen



Den er forskjøvet mot høyre ved lav temperatur, og mot venstre ved høy temperatur. Visse CO-CO₂-trykk lar seg ikke realisere.

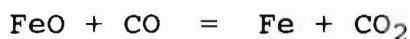
2) karbon reagerer med jernsystemet (går i oppløsning) under visse forhold. Det gjelder for jernfasen, spesielt såkalt fast austenitt (gammajern), med løselighet opp til ca. 2%, eller flytende jern, med løselighet opp til 4 - 5%.

Endelig må vi være oppmerksomme på at nitrogen ofte er en del av gassen, slik at summen av CO, CO₂ og O₂ ikke utgjør 1 atm, men

ca. 0.3 atm.

En sammenfatning av alle data som gjelder for systemet Fe - O - C er vist i figur 3, med temperatur som abscisse og forholdet mellom gasstrykket av CO og totaltrykket av CO og CO₂ som ordinat. "Integraltegnet" viser hvilket gasstrykk som dannes på overflaten av karbon. En ser at ved lave temperaturer dannes alt vesentlig CO₂ og ved høye temperaturer CO, i samsvar med hva som ble uttrykt ovenfor. Sammensetninger på venstre side av denne Boudouardkurven er egentlig ustabile, de skal skille ut sot. På høyre side er gassen "umettet" på karbon.

Laveste temperatur for nærvær av karbon, FeO og Fe er gitt av punkt A. Mer realistisk for produksjon er punktene B og C ved omlag 900 - 1000°C: jern dannes ved betingelser, som svarer til punkt C, etter likningen



(Nå brukes likningen støkiometrisk! For hvert mol FeO som reduseres brukes opp 1 mol CO).

CO₂ som dannes i punkt C kan gjenvinnes eller regenereres ved reaksjon i punkt B, etter likningen



Ved denne prosessen oppstår fast jern med omlag 0.05-0.1 % C.

Et annet viktig punkt i diagrammet er D: produksjon av flytende jern med høyt karboninnhold. Dette svarer til råjern.

En kan selvsagt også sette opp andre oksyd-metall-likevekter, bestemme oksygentrykket når begge faste (flytende) stoffer er til stede og regne ut det tilsvarende CO-CO₂-forholdet. Det viser seg da at alle edle metaller dannes ved et meget lavt CO-innhold i en reduksjonsgass, i forhold til hva som trengs for overgangen fra FeO til Fe (eksempel Pb, Cu o.s.v.). Jernmalmer er oftest Cu og Pb-fri. For de uedle metallene, slik som Mn og Al, kreves et meget CO-rikt (reduserende) miljø, langt mer enn for Fe selv. Dette er vist for 1000°C på figur 7 i avsnittet om jern og stål. Fosfor er et interessant grensetilfelle: det reduseres knapt inn i metallet når prosessen drives relativt oksyderende, slik som i en blesterovn, mens det reduseres kvantitativt inn i en masovns-prosess.

ET PAR EKSEMPLER:

Produksjon ut ifra slaggmengde på en funnplass.

Et av de viktigste spørsmålene, som melder seg for en arkeolog, er hva en viss slaggmengde svarer til av produsert metall. Dette er egentlig et enkelt støkiometrisk problem, dersom man aksepterer noen generelle trekk for reduksjon av ulike oksyder.

Av oksydene i vanlig myrmalm er det bare jernoksyd som overføres til metall. (Alle de øvrige stoffene MnO , Al_2O_3 , SiO_2 , o.s.v. reduseres ikke. Metalloksyder av Pb, Cu og P er normalt ikke til stede i malmen).

Det svarer seg å tegne en boks, som utgjør vår blesterovn, og omfatter en komplett smeltesyklus. Det går tre piler inn i boksen: røstet malm, trekol og blestluft, og tre piler ut: slagg, metall og avgass.

Det er naturlig å velge en viss slaggmengde som basis. Velg f.eks. 10 kg, som gir rimelige tallstørrelser.

Det forutsettes at slaggen er analysert, og at analysen er representativ. (Det siste bør kontrolleres!)

Våre ukjente er: mengde røstet malm, analyse av malmen, og mengde jern. Mengden av trekol er irrelevant idet vi kan betrakte materialbalansen for karbon som uavhengig av stoffene som inngår i malm, metall og slagg.

I det følgende forutsettes at stoffmengden i treasken og oppløst foringsmateriale kan neglisjeres.

For å løse et likningssystem med tre ukjente, så trenger vi tre uavhengige likninger. Vi har i dette tilfellet bare to uavhengige likninger, den ene for jern Fe, den andre for et hvilket som helst av de andre stoffene: Al, Si, Mn o.s.v. Det som skjer ved reduksjonen er anskueliggjort i fig. 4: 1) overskytende oksygen fjernes som gass 2) noe FeO reduseres til metall, og 3) resten blir tilbake i slaggen. Oksydene utenom jernoksyd anrikes, alle sammen "i takt". Vi er derfor nødt til å eliminere en ukjent. Det som normalt kan hjelpe oss er analysen på røstet malm. Takket være at reduksjonen foregår "i takt" kan vi vurdere om en viss råmaterial-analyse er sannsynlig ved å sammenlikne % SiO_2 , % MnO og % Al_2O_3 i råstoff og slagg.

La oss velge mengde produsert metall per 10 kg slagg som ukjent X, og tilhørende mengde røstet malm som inngår som ukjent Y. Vi får dermed følgende likninger:

Fe-balanse: $Y \times (\% \text{Fe i malm}) = X + 10\,000 \times (\% \text{Fe i slagg})$

SiO_2 -balanse: $Y \times (\% \text{SiO}_2 \text{ i malm}) = 10\,000 \times (\% \text{SiO}_2 \text{ i slagg})$

En MnO -balanse bringer ikke inn noen ny likning. Enten supplerer den, slik at systemet blir overbestemt (det skjer når analysene er gyldige, eller den fører til selvmotsigende likninger (når analysene ikke er gyldige)). På en eller annen måte må dette kontrolleres. Prøv f.eks. en gang med % SiO_2 , og løs likningssettet. Prøv neste gang med % MnO i samme råstoff. Likner svarene på hverandre? I så fall kan resultatet være rett. Om de ikke likner på hverandre, så er det uoverensstemmelse mellom råstoff- og slagganalyse.

Den siste likningen har bare en ukjent. Når den er funnet, kan

verdien av Y bare settes inn i likningen for Fe, og begge størrelser er bestemt.

Det bør være en rimelig oppgave for arkeologer å forsøke seg på slike regneeksempler.

En litt større oppgave vil være å finne ut hva trekolaske og eventuelt oppløst foring vil ha å si for resultatet.

Det er naturlig å knytte en slik utregning til studiet av ovn C2a på Heglesvollen, som blir behandlet i et senere foredrag. Vi har hatt problemer med å finne store nok mengder av røstet malm til at vi kan få sikre analyser på råstoffet. Et lager av røstet malm er bare funnet på en jernvinneplass: Roknesvollen, ca. 3 km fra Heglesvollen. På Heglesvollen er det "sølt" mye røstet malm rundt ovnene, men laget er så tynt at en ved å samle det opp får med mye sandpartikler. Dermed er prøven så å si verdiløs. To små klumper av røstet malm er imidlertid analysert og kan anses for å være representative, ut ifra kontroll av forholdet $\text{SiO}_2/\text{MnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ for malm og slagg. Utregning gir at 100 tonn slagg på Heglesvollen svarer til ca. 60 tonn produsert jern, når det ikke er tatt hensyn til trekolaske og eventuelt bidrag fra foringsmaterialet i sjakten.

Slagganalyser - vurdering av effektivitet.

Røstet myrmalm inneholder oksyderte jern- og manganhydrater, sammen med partikler av sand og feltspatt, d.v.s. normalt SiO_2 og alkali- eller jordalkali - aluminiumsilikater, som ikke har endret sammensetning ved røstinga.

Ved reduksjonen fjernes litt oksygen og jern. Men den mengden jern som kan fjernes begrenses av silikamengden: SiO_2 i råstoffet forlanger nøytralisering før den frigjør FeO for reduksjon.

Effektiviteten av smelteprosessen kan derfor i enkleste tilfelle for en Fe-O-Si slagg vurderes ut ifra hvor mye som foreligger av "fri" FeO, når SiO_2 er blitt nøytralisert i form av fayalitt Fe_2SiO_4 . Om slaggen inneholder MnO, CaO o.s.v. blir beregningen litt mer komplisert.

Det er altså ikke rett å vurdere %FeO alene. Mengden av FeO representerer såvel valget av råstoff, som kan ha variert mer tilfeldig, og effektiviteten ved selve smeltinga. Det er mengden av FeO i forhold til SiO_2 som alene forteller om effektiviteten ved smeltinga.

Med enkel regning finner en ut at en myrmalm med 30% SiO_2 og 70% FeO ikke skal gi noe jern ved reduksjonen i det hele tatt. SiO_2 i råstoffet vil nemlig binde all FeO som fayalitt.

Sluttord:

Det er mitt håp at arkeologer, som kommer bort i slike prosesser

som jernframstilling ikke vil overlate hele den naturfaglige siden til teknologer, men selv foreta noen av beregningene, spesielt slike som er knyttet til støkiometri. Det er også viktig at noen kontrollerer de påstandene og beregningene som teknologer og naturvitere kommer med! Endelig bør arkeologer venne seg til å bestille analyser som kan ha en mening for den aktuelle problemstilling.

La meg understreke at dette kapitlet på ingen måte dekker de naturfaglige sidene ved jernblestring. Minst like viktig som støkiometri og likevekter er varmembalanser og kritisk vurdering av faseskille. Det ser ut til at et godt skille mellom fast metall og flytende slagge var noe av det viktigste. Dette krever andre former for innsikt enn det som er tatt fram i dette kapitlet.

Fig. 1. Det periodiske systemet med atomvekter.

Fig. 2. Masovn, skjematisk, med de viktigste materialstrømmene inn/ut.

Fig. 3. Systemet Fe - O - C.

Fig. 4. Vektendring ved overgang fra røstet malm til slagge og metall

GASSER

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

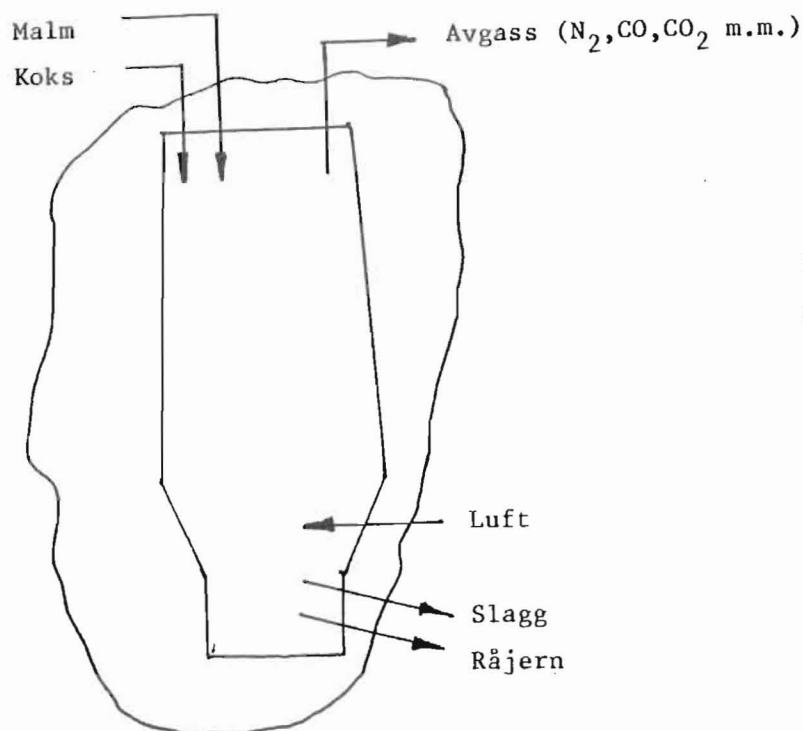


Fig. 2.

Masovn med de viktigste
inn- og utgående stoffene.

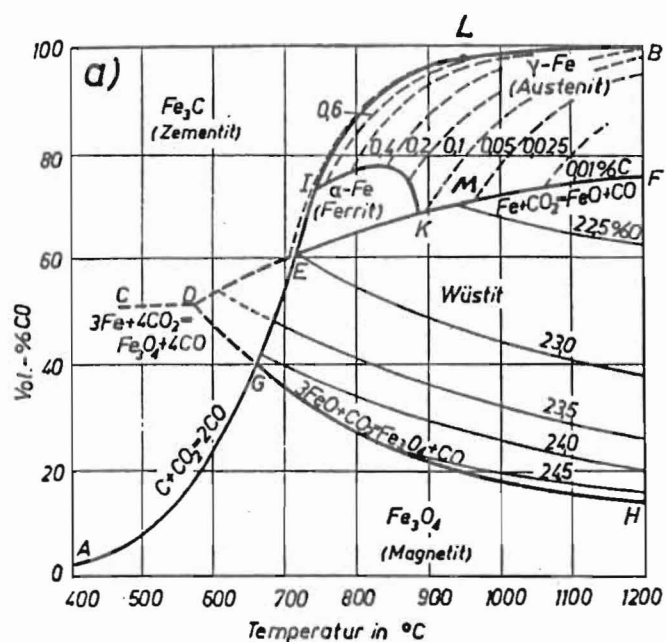


Fig. 3.

Likevekter i systemet $\text{Fe} - \text{O} - \text{C}$.
ved 1 atm. totaltrykk, av
gassene CO og CO_2 .

Verdiene forskyves litt for
totaltrykk ca. 0.4 atm.

Etter Schürmann,

Stahl u. Eisen 78 (1958).

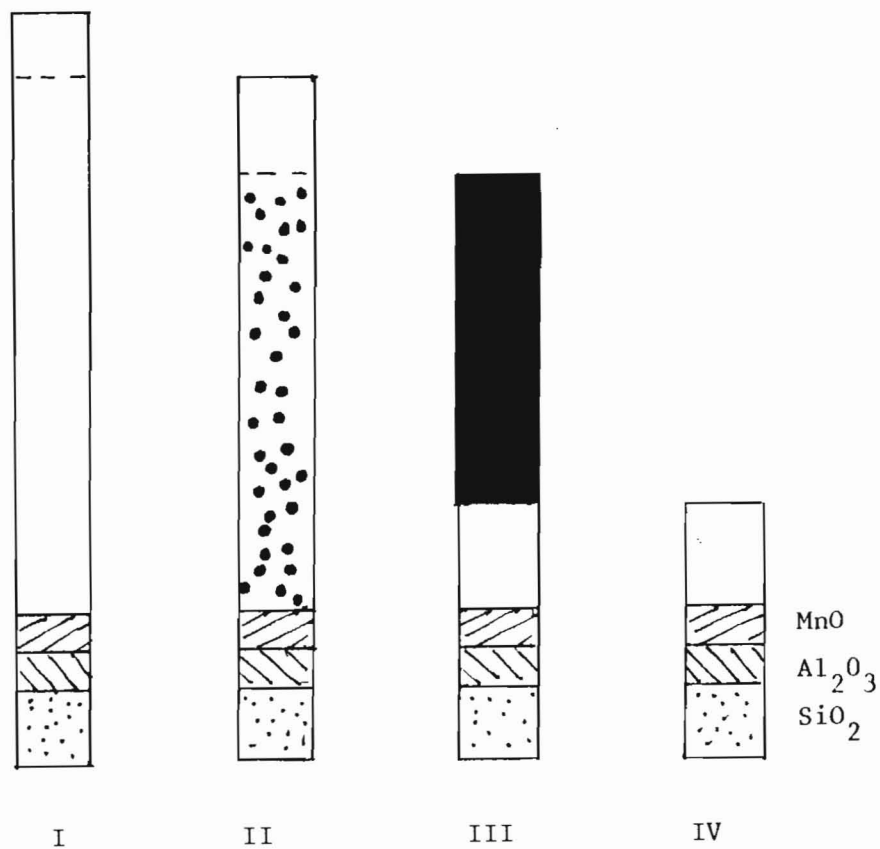


Fig. 4. Vektendring ved overgang fra røstet malm til jern og slagg (skjematisk).

Trinn I: Fe_2O_3 reduseres til FeO .

Trinn II: En del av FeO går over til Fe .

Trinn III: Massen deles opp i flytende slagg og fast metall.

Trinn IV: Gjenværende slagg.

Legg merke til hvordan prosentinnholdet av SiO_2 , MnO o.s.v. øker.

Arne Espelund

KONSTRUKSJON OG DRIFT AV OVNER FOR JERNFRAMSTILLING FRA ROMERSK JERNALDER - FOLKEVANDRINGSTID I MIDT- NORGE.

Sammendrag:

Forelesningen er et forsøk på å tolke jernblestringa, slik den foregikk i Midt-Norge i romersk jernalder - folkevandringstid. Siden 1982 er det fra denne perioden funnet et femti-talls anlegg fra Verdalsfjella i nord og til grensefjella mot Østlandet i sør. De ser ut til å representere en felles teknologi og en meget stor, velorganisert produksjon. Alle anleggene ligger over den marine grense, stort sett i innlandet og oftest nær dagens skoggrense.

Foredraget bygger på utgravning av ovner på Heglesvollen på nordsida av Forravassdraget i Levanger kommune, ved Vårhussetra i Hessdalen, Holtålen kommune og ved Tovmoen i Budalen, Midtre Gauldal kommune. Det vises ellers til Lars Stenviks foredrag, holdt tidligere under dette kurset. Heglesvolloven er ellers beskrevet av Farbregd, Gustafson og Stenvik i 1984 (1) og noe senere av forfatteren (2 - 5). Det bør kanskje alt her påpekes at det er en betydelig forskjell på tolkningen, som uten tvil skyldes en utvikling siden 1984 og ulik faglig bakgrunn hos forfatterne. I tidsskriftet Spor, hefte 3 er det gitt populære framstillinger over tolkningen, både fra arkeologisk og metallurgisk side, slik den var i 1987 (6).

Bakgrunn:

"Jernvinna" ble tatt opp som skoleprosjekt av forfatteren i 1977.(7). Den praktiske siden av tiltaket baserte seg hovedsakelig på den teknologien som var kjent i Østerdalen på 1700-tallet, og som er utførlig beskrevet av Ole Evenstad i 1782 (8).

Etter at samarbeidet med Ivar Berre og prosjektarbeid i Skogn var påbegynt førte leting etter myrmalm ved Heståsbekken på nordsida av Forramyran til at vi også ble oppmerksomme på ganske store stykker av slagg, som lå i en veiskråning og som hadde en helt annen karakter enn slagg fra "Evenstad-ovner." Da terrenget rundt Heglesvollen ble studert sammen med arkeologer, ble det også konstatert noen meget markerte fordypninger i et regelmessig mønster langs en terrassekant, der det var veltet store mengder slagg nedover skråningen. Dermed var det såvel juridisk, faglig og praktisk nødvendig å trekke inn arkeologisk hjelp. Den første datering med 14C-metoden på meget representative trekolprøver forelå i 1983. Alle dateringer har ligget innenfor tidsrommet ca. år 0 - 550 AD.

I årene 1982 - 84 ble det gravet ut fire ovner på Heglesvollen, og i 1987 en ovn både ved Vårhussetra og ved Tovmoen i henholdsvis Hessdalen og Budalen. På Heglesvollen er det også studert noen hustufter. Arkeologene O. Farbregd, Lil Gustafson,

T. Herje og i særlig stor grad L. F. Stenvik har ledet dette arbeidet. Undertegnede har vært med på all utgraving av jernvinneplasser i disse årene, særlig av ovnene og det som er i umiddelbar nærhet.

Funnplassene er beskrevet i Lars F. Stenviks foredrag. Her skal det bare påpekes at ovnene består av en meget godt bevart hesteskoformet steinmuring under bakkenivå, med "åpning" mot terrassekanten. De er fylt med in situ-slagg i mengder fra ca. 20 - 140 kg, åpenbart fra siste smelting, mest i de yngste ovnene. Steinmuringa er lite påvirket av varme, og på steder der det er leirforing er leira fortsatt grå. Slaggen som er i kontakt med steinveggen eller leirforinga har vært godt flytende fordi den har fylt all tilgjengelig plass. Den brytes nå lett opp i stykker, takket være meget stor andel hulrom med avtrykk av ved eller trekol. Det er også mange runde hulrom i slaggen, tilsynelatende etter gass.

Det er på alle funnplassene funnet bruddstykker av keramikk. De må stamme fra en del av ovnen, som har stått over bakken og som har vært utsatt for meget høy temperatur. Mest informasjon om formen og karakteren på overbygningen får en fra det utgravde anlegget ved Vårhussetra. Der er det funnet keramiske stykker på opptil et par dm² størrelse, som må ha vært en del av ei sjakt plassert over den "ovnen" vi finner i bakkenivået.

Slaggvarpet i skråningen nedenfor ovnene består av tilsvarende slagg, bruddstykker av sjaktmateriale, skjørbrønt stein og ganske mye matjord.

Forbilder:

Det vil alltid være noen forbilder som gir rammer for hvordan man tolker et funn. Her blir det bare foretatt en kort presentasjon av situasjonen først på 1980-tallet:

I Norge er Irmelin Martens' utgravninger ved Møsvatn i Øvre Telemark best kjent. Utgravde ovner er datert til vikingtid - middelalder. Hun har karakterisert to ovnstyper: en lav, åpen og steinsatt grop, som hun kaller hellegrYTE, og en lav sjaktovn, kalt leirovn. Den siste inngår normalt i et anlegg, som med rette blir kalt blestertuft (9, 10).

T. B. Nakkerud og Eva Schaller har gravet ut en annen ovnstype fra yngre romertid ved Eg ved Kristiansand (11). Den minner om den sjaktovnen, som er kjent fra bl.a. Drengsted i Danmark og Scharmbek ved Hamburg. En liknende ovn skal nå være funnet på Jæren (Håvaldsen (12)).

A. B. Johansen har studert anlegg av en annen type i Sysendalen på vestsida av Hardangervidda (13). De er datert til ca. år 100 BC-100 AD, muligens også med yngre aktivitet knyttet til anleggene. Det har etter hvert vist seg at disse anleggene er beslektet med dem vi har funnet i Trøndelag.

Forfatteren har selv studert tallrike anlegg fra smelting i etterreformatorisk tid i Nord-Østerdalen. Denne typen likner på den som er beskrevet i Ole Evenstads bok og av andre forfattere i samme periode. Evenstad- perioden faller utenom arkeologenes arbeidsområde, slik det er definert.

Fra vårt naboland Sverige er det arbeidet Inga Serning utførte på dette området særlig godt kjent. Både hun og I. Martens har laget forslag til typeinndeling av ovner for lavteknisk framstilling av jern. (14, 15).

De analogiene vi kunne støtte oss til gikk delvis på topografi og utseende på slaggen (Sysendalen). Noen analogi for selve ovnene kunne vi ikke støtte oss til. Overfor de ovnene som var funnet ved Eg og på Møsstrand var det snarere snakk om kontraster.

Alle forbildene hadde med morfologi å gjøre. Det er klart at morfologien sier alt når den tilhørende funksjonen eller prosessen er helt åpenbar. Driften av blesterovner er imidlertid ikke så åpenbar. Det ser ut til at de fleste forestillinger om driften a priori antas å være mer eller mindre slik som hos masovner, som igjen har visse analogier med den sylindriske vedovnen de fleste har stelt med.

Jeg vil derfor kort presentere ulike typer av prosessteknikk, som etter min mening gir oss helt nødvendige begreper for å tolke sammensatte prosesser. Jeg velger å ta eksempler fra moderne indirekte stålframstilling, som for denne sammenlikningen omfatter tre aktuelle trinn:

A) masovnen, som er en kontinuerlig prosess. Velger vi et vilkårlig punkt i reaktoren, så endres ikke temperaturen og den kjemiske sammensetningen over tid. Masovnen kan grovt beskrives ved en tegning, som utstyres med de nødvendige piler for stoffer som tilføres (malm, koks, luft) og de som tas ut (råjern, slagg, avgass).

(Analogi: menneskekroppen).

B1) konverteren, som står for en ideell satsvis prosess. Den fylles med flytende råjern, som behandles med oksygen gass inntil smelten er omvandlet til stål. Den flytende innsatsen har en og samme sammensetning overalt, altså ingen endring med posisjon (takket være god omrøring). Sammensetningen og temperaturen endres imidlertid over tid.

For en slik prosess trenger man flere tegninger for å vise utviklingen over tid.

(Analogi: en kjel med vann, som varmes opp).

B2) stål under størkning i såkalt kokille. Dette er også en satsvis prosess, men i dette tilfellet endres temperaturen, og karakteren på stoffene såvel med posisjon som med tid.

(Analogi: steking av brød)

For å skjelle mellom de to typene av satsvise prosesser kan vi kalle dem henholdsvis satsvis konsentrert og satsvis fordelt. Det er klart at den siste er vanskeligst å beskrive matematisk idet alle egenskaper er en funksjon av både posisjon og tid.

De tre typene av prosesser er vist skjematisk i fig. 1.

Mange prosesser utføres trinnvis og kan sies å være kombinasjoner.

En støter ofte på påstander, som enten er feil eller mangler grunnlag fordi det ikke eksisterer noe konsept om hva slags prosessteknikk den lavtekniske jernframstillinga kan stå for. En slik påstand er:

"en må bruke trekol i ovnen fordi trekol gir mer varme enn ved".

Karakteristikken av ved kontra trekol er helt riktig, og for drift av kontinuerlige prosesser gjelder argumentet i de fleste tilfelle.

Hvis prosessen imidlertid utføres satsvis, så kan en bruke første periode til å omdanne ved til trekol inne i ovnen. En avslutter dermed første periode med en ovn full av glødende trekol, og neste periode - reduksjon av røstet myrmalm - kan ta til. Dette gjøres i Evenstadprosessen.

Jeg utelukker ikke med dette at det også fins typer av anlegg, der trekol ble satt til direkte. (Det er tilfellet ved de nye anleggene, som kom i vikingtid - middelalder).

"det må tilføres luft fra blåsebelger, ellers blir ikke temperaturen høy nok".

Trenger en høy temperatur? Ja, utvilsomt for å skille flytende slagge fra fast metall, kanskje også for sammensintring av metallpartikler til en smibar "luppe". Men reduksjon av røstet myrmalm med stor overflate foregår med letthet rundt 1000°C, en temperatur som oppnås nokså lett ved forbrenning i en sjakt med naturlig trekk.

Det er derfor prinsipielt mulig å tenke seg en lavtemperaturperiode for å gjennomføre reduksjonen, fulgt av en periode med høyere temperatur for å få slaggen til å renne bort, samtidig som partikler av jern sintrer sammen til større aggregater. Bruk av blåsebelger kan være en av måtene å få opp temperaturen på.

Igjen viser Evenstadprosessen at disse to trinnene hører med og følger etter hverandre: Etter at veden i første periode har brent til trekol settes finknust malm til på toppen. Bleståpningen er åpen og ovnen går på naturlig trekk, uten bruk av muskelkraft. Først når en vesentlig del av trekolet er brent opp begynner en å trå belgene. En reduksjonsperiode uten bruk av belger følges altså av en periode med intens belgtråkking for å

få den nødvendige overtemperaturen. (I (16) har forfatteren påpekt at det kan svare seg å foreta reduksjon mens malmen er i fast tilstand, uten at det blir drøftet videre her).

Den ene tegningen, som gjengis av Evenstadvn (fig. 2), viser at den er utstyrt med blåsebelger. Det framgår ikke uten videre av denne ene tegningen at spissen av de to blåsebelgene er plassert inne i en relativt vid, traktformet åpning, slik at luft kan strøme ved naturlig trekk gjennom denne blestformen, uavhengig av blåsebelgene. Det foregår i en vesentlig del av hele smelteperioden.

Hvis Evenstadvn skulle være tjent med overgang til kontinuerlig blest, skulle en ha ventet at det hadde blitt bygd tallrike vassdrevne anlegg. Rester av slike anlegg fins det meget lite av. Forfatteren kjenner bare til ett. Det ligger ved Sandnesbekken, som renner inn i Langsjøen i Tolga kommune.

Fram til dette stadiet er det altså nødvendig å presentere tre illustrasjoner for å gi et dekkende inntrykk av den satsvise prosessen som smelting i Evenstadvn er. Det trengs trolig et par til, for å vise alle stadier fram til ferdig produkt.

"Evenstadvn" var i bruk ca. 1000 år etter Heglesvollovn, og en arkeolog vil med rette spørre om det er noen sammenheng. Samfunnsforholdene og morfologien hos ovnene er drastisk forskjellige. Men om en spør etter driftsmåte, stiller saken seg annerledes. Prosesen stiller krav om nokså bestemte løsninger, med ganske trange rammebetingelser. Alle trinn behøver ikke høre med. Det er tegn på at den mellomste teknikken fra vikingtid - mellomalder krevde trekol, framstilt separat et annet sted. Det er mulig at dette henger sammen med at ovnene var plassert inne i hus, kanskje også med utformingen av sjakta og måten råstoffene ble tilsatt på.

Det er ikke enkelt å gjenskape en satsvis prosess med flere trinn, som følger etter hverandre, når en bare kan støtte seg på funn som er fragmentariske og når det ikke fins skriftlige kilder. Evenstad bruker ca. 70 sider for å beskrive alle trekk ved datidens prosess. Vanskene med å gjenskape den eldre, lavtekniske prosessen der skriftlige kilder mangler gir en indikasjon på at den var ganske sammensatt.

Enn videre er det klart at en slik satsvis prosess kan bli avglemt ved et avbrudd, særlig om den foregår i et samfunn uten bruk av skriftspråk og uten nøyaktige og/eller objektive mål for tid, vekt og temperatur. Det er derfor ikke uten videre gitt at de markert nye prosessene som ble introdusert ca. år 700 og etter Svartedauden sto for teknisk utvikling og forbedring. Det kan hende at jernframstilling ble "oppfunnet" både to og tre ganger.

Tolking av "Heglesvollovn":

Etter utgravning i Sør- og Nord-Trøndelag fra 1982 er det mye som tyder på at det i tidsrommet fra ca. år 0 til 500 AD ble

utviklet en ovnstype, som kan karakteriseres som "elvemels-anlegg". Denne utviklingen over tid kan en tilsynelatende iaktta på Heglesvollen, som kan ha vært et stort forsøksområde, et laboratorium i friluft. Ovnstypen og teknologien som hørte til må ha vært så overbevisende at den ble tatt i bruk andre steder. Anlegg som vi kjenner til og som er blitt studert ved utgravning ligger ved Vårhussetra i Hessdalen og ved Tovmoen i Budalen. På sistnevnte steder får en inntrykk av at en ferdig teknologi er hentet utenfra.

De utviklede anleggene er organisert med ovner i grupper på en terrassekant, oftest på rekke, men også i en krets, avhengig av terrenget. Avstanden fra en ovn til den neste kan være rundt 6 m. Ovnene er normalt omgitt av regelmessige fordypninger, - tre eller fire for hver ovn. I disse fordypningene er det funnet lite materiale, som gir opplysninger om gropenes funksjon. Ca. 125 kg småfallen stein i en av gropene rundt ovn C2a på Heglesvollen, derav mye som er sotet og i stor nevestørrelse, gir kanskje det best tolkbare delfunnet hittil.

Ovn C2a på Heglesvollen og I-3 ved Vårhussetra er meget like hva gjelder karakteren av steinmuringa, formen på den delen av ovnen, som er under bakken og utseendet på slaggen. Trolig er den utgravde ovnen på Tovmoen likeens, men selve muringa var litt skadet. Det er en viss skilnad hva gjelder sjaktmaterialet. Jeg tillater meg å utnytte funnet ved Vårhussetra for å få innblikk i hvordan sjakta var utformet og antar at dette er i hovedsak er gyldig for den "utviklede Heglesvollovn".

Ved graving ved Vårhussetra i juli 1987 fant vi store stykker av svakt krummet keramikk. På biter som ikke hadde blitt for sterkt slagget kunne en tydelig se opptil 4 lag med leire, - det ene brent etter det andre. Lagene sprakk lett opp i sammenføyningene til biter med tykkelse ca. 12 mm. Andre store stykker var sterkt påvirket av varme og/eller slag på innsida.

Tolkinga skal allikevel begynne med slaggens karakter. Som nevnt har slaggen hulrom med fiberstruktur etter trekol eller biter av tre. Det ble først antatt at veden eller trekolet hadde brent opp da den varme slaggen kom ovenfra (1). Det er imidlertid funnet brunlige fibre på enkelte av hulrommene. Dermed må en spørre seg om resten av hulrommene etter at slaggen var størknet var fylt med trevirke, alt vesentlig upåvirket av den varme slaggen. Denne rest-veden har så råtnet opp ved lagringen gjennom snart 1500 år. Slaggen er jo full av små sprekker, som slipper til luft og fuktighet.

Denne tolkinga blir styrket av at en finner både avtrykk etter trefliser og noe som ser ut som merker etter øksehogg. Begge deler ville ikke ha forekommet dersom gropen under ovnen hadde vært fylt med trekol. Stort sett har stykkene ligget vannrett: de er lagt inn enkeltvis, mens en nok ville tømme biter av trekol inn i en slik grop.

Det er ofte en påfallende "bølgeeffekt" langsetter hulrommene etter ved. Denne effekten oppstår på grunn av krymping og

sprekkdannelse ved overgangen ved - trekol når kalsineringen på overflaten foregår så fort at det indre ikke følger med, men beholder sin tre-karakter og sine opprinnelige dimensjoner. Ved vanlig, langsom trekoldannelse opptrer ikke noen slik effekt fordi det ikke er noen markert forskjell i temperatur/brenningsgrad mellom overflate og kjerne. Hele stykket krymper "i takt".

Denne effekten er også konstatert ved forsøk med å helle flytende fayalittslag, smeltet i induksjonsovn, over trestykker av furu, laget med øks. og plassert inne i en kumring av betong. Et stykke lufttørket leire med tykkelse ca. 1 cm var fortsatt ubrent etter kontakt med flytende slag som holdt på å størkne.

In situ-slag har ofte plane flater der slaggen vender mot steinveggen uten noen form for fastbrenning. Andre steder henger leire fast i slaggen, leire som fortsatt er ubrent, grå. Slaggen viser ikke noen assymetri over tverrsnittet av ovnen.

Den første delen av tolkinga er helt entydig: Den "ovnen" som vi har gravet ut ble ved begynnelsen av en smelteperiode fylt med trevirke, som lå på kryss og tvers. Varm slag har så mot slutten av smelteperioden kommet som en styrtsjø ovenfra og fylt hulrommene mellom vedstykkene. Veggene var relativt kalde da slaggen kom. Det var ingen lufttilførsel og forbrenningsreaksjoner i denne delen. "Ovnen" under bakken har altså fungert som en resipient for slag. Den minner i funksjon sterkt om en septiktank. Veden i denne gropa har altså ikke hatt sine vanlige funksjoner som byggemateriale eller for forbrenning.

Det er funnet ca. 100 kg. sjaktmateriale over og rundt ovn I-3 ved Vårhussetra. Av alle bitene var en av spesiell interesse: et stykke på ca. 20 x 12 cm med "normal" tykkelse og med halvparten av en sirkelrund åpning på 8 cm diameter i behold. Kanten av åpningen og hele innsida av stykket var svart og slagget på grunn av varmepåvirkning.

Det er grunn til å tro at dette er en åpning for tilførsel av luft. Størrelsen svarer ikke til en bleståpning som slutter tett rundt spissen på en blåsebelg fordi en slik spiss knapt kan være over 1-2 cm i diameter. Ellers suges varm luft inn i belgen hver gang belgen fylles. Den tolkes som en åpning for naturlig trekk. Slik trekk ble skapt ved skorsteinsvirkning.

Det er ikke funnet rester av andre bleståpninger (også kalt blestform eller dyse), bortsett fra en halvpart med lysåpning ca. 4 cm ved det første anlegget som ble gravet ut på Heglesvollen, kalt Ø1. Dette anlegget tolkes som en tidlig ovn, en forsøksovn, med mest sannsynlig datering 0 +/- 110 AD.

Sjansen for å finne bevarte bleståpninger når de er store og er laget i relativt tynt keramisk materiale er meget liten fordi de vil være vanskelige å skjelne fra vanlig sjaktmateriale uten spesiell funksjon. Materialet vil allikevel bli gått gjennom på nytt.

Det konkluderes med at ovnen ble drevet med naturlig trekk, og at

den hadde flere bleståpninger rundt periferien, (f.eks. 4). Annerledes kan vi ikke tolke at in situ-slaggen er symmetrisk tvers over tverrsnittet av ovnen.

Det bør påpekes at denne tolkinga avviker sterkt tolking av ovner fra samme periode i Jämtland (18). I (18) foretas sammenlikning med Heglesvollovn, slik den ble tolket av arkeologer i 1984 (1): som en nedgravd gropovn med foring av leire.

Med denne tolkinga har forfatteren forkastet tanken om separat lufttilførsel til kummen under bakken, et synspunkt som ble fremmet i SPOR (6). De øvrige synspunktene med sjakt og drift uten blåsebelg har blitt hevdet siden 1985 (2-5, 16).

På denne bakgrunnen blir driften av Heglesvollovn en satsvis prosess, der det er minst to ledd: reduksjon, som foregår i sjakta over bakken, fulgt av dekantering av slaggen. Samtidig må det ha foregått en sammensintring av partikler av jern til en luppe. Jernet samlet seg over slaggen og er selvsagt fjernet før utgraving tok til. Etter normal smelting ble også blandingen av slag og trevirke tatt ut av gropa.

Det er påfallende lite tegn til trekolbrenning i groper på Heglesvollen og på andre tilsvarende funnplasser. Med en produksjon på ca. 60 tonn jern, som C-anlegget på Heglesvollen vitner om, skulle en ha ventet å finne tallrike kolmilegroper dersom trekol var råstoff. Det er heller ikke sølt trekol rundt ovnen.

Forfatteren vil derfor hevde at tre ble brukt direkte. Den store hustuften som ble gravet ut i 1986 på ca. 4 x 11 m, uten noe som helst funnmateriale, hverken trekol, malm eller gjenstander, kan ha vært en vinterlagringsplass for ved og arbeidsplass for vedhoggere. Kanskje det også var i bruk for spesielle trearbeider, som snekkerverksted og lager. Med et så avansert anlegg og en spesialisert arbeidsstokk ville det være naturlig med flere måneders drift. Den veden som skulle brukes da sesongen tok til måtte være lagret over vinteren. Størrelsen på bygningen kan passe for den vedmengden som gikk med i en sesong, om en regner den for 3 - 4 måneder. De relativt solide veggvollene er det eneste som kan tale mot en slik tolkning. Se også artiklene i Spor (6).

Det gjenstår et sentralt spørsmål: På hvilken måte kunne en få opp temperaturen fra et reduksjonsnivå på 900-1000°C til dekanteringstemperatur på ca. 1150 - 1200°C? Dette realiseres i en viss grad med blåsebelger i Evenstadprosessen.

Rent prinsipielt kan en tenke seg følgende, enkeltvis eller i kombinasjon:

- a) bruk av blåsebelger eller forbedret skorsteinseffekt.
- b) forskyvning av forbrenningen fra CO og over til mer CO₂, som gir høyere flammetemperatur.
- c) forvarming av blestlufta.
- d) tilførsel av varmeenergi gjennom veggen.

a) En forbedret skorsteinseffekt kan oppnås ved å forlenge skorsteinen og/eller ved å sette til ekstra brennbart materiale øverst i sjakta, et fenomen vi har observert for Evenstadovnen (17). Slike tiltak vil føre til økt trekk gjennom luftåpningene. Den ekstra skorsteinen, som var i bruk en kort tid, kan ha vært laget av tre.

b) En hardere, mindre reaktiv trekol kunne ved forbrenning gi en mer CO₂-rik gass enn en lettbrent og porøs trekol. Men denne effekten har sin klare begrensning fordi det produserte metalliske jernet kan bli oksydert. Grenseverdien for oksydasjon er kjent når temperaturen er gitt, uten at dette blir behandlet her.

c) Det er som nevnt ovenfor funnet mye stein som minner om kokestein i en av gropene ved ovn C2a på Heglesvollen. Dessuten er det mye skjørbrent stein i slagghvarpet. Ikke all stein gir inntrykk av å ha hatt noe med konstruksjonen å gjøre.

Forfatteren mener det er mulig at den høyere temperaturen som trengs for dekantering av slaggen er oppnådd ved å legge stein, som er blitt forvarmet separat på et bål, foran bleståpningen, slik at lufta ble tvunget til å gå gjennom denne steinpakningen. Rosettgropene kan ha vært brukt for lagring av stein og for oppvarming av stein.

Et separat forsøk har vist at en med letthet på ca. 1 time forvarmer stein til rundt 500°C.

Det anses som sannsynlig at både bedring av trekken gjennom ovnen og forvarming av stein kan ha vært foretatt for å få den nødvendige overtemperaturen. Blåsebelger har knapt vært brukt ved en ovn med stor diameter, som sto over bakken og trolig hadde flere store bleståpninger.

d) Varmetilførsel gjennom vegg anses som ikke gjennomførbar for denne ovnstypen.

Et annet spørsmål melder seg: Ovnene ved Vårhussetra og ved Tovmoen inneholdt 140-150 kg in situ slag, mens de fire utgravde ovnene på Heglesvollen holdt 20 - 66 kg. De største av disse slaggmengdene kan ikke ha kommet på en gang, ellers ville den i reduksjonsperioden ha tettet sjakta. Hvor mange ganger har slaggen blitt dekantert?

Et detaljert studium av in situ-slaggen fra Tovmoen er i gang for å finne ut om det er noen form for "terrassedannelse" eller om kjemiske analyser kan si noe om sjikt.

Det kan tenkes at den sykliske prosessen besto av følgende ledd: etter at kummen nederst er fylt med ved og sjakta kommet på plass:

1. Sjakta fylles med ved. Veden antennes og brenner til trekol.
2. Røstet malm settes til og reduseres mens ovnen går på naturlig trekk.

3. Temperaturen økes (hvordan?) og slaggen renner ned. Jernet synker også og samles i større stykker.
4. Sjakta fylles pånytt med ved, som får brenne til trekol.
5. Røstet malm settes til o.s.v.

Denne prosessen gjentas inntil slaggmengden er så stor at kummen blir fylt. I beste fall samler jernet seg fra hver fase seg i en større luppe.

Det spas opp i forkant av ovnen og jernet tas ut, trolig i rødvarm tilstand. Det blir umiddelbart smidd på stedet til en kompakt klump.

Deretter renses kummen for slag. Prosessen kan begynne forfra. Muligens blir sjakta under dette arbeidet løftet av som en enhet. (se også Tylecote (19)).

Det er viktig å få fylt sjakta med mest mulig ved av en type, som gir størst mulig mengde trekol og lite finstoff. Finstoff kan tette igjen sjakta. Det er ikke tvil om at fjellved med tette årringer vil være best egnet. Jeg anser det som en viktig grunn for å legge anlegg oppe nær tregrensen, mens arkeologer hittil har lagt fram andre synspunkter (se bl.a. Johansen (13)). Det er interessant at på Kontinentet og i England ble ofte trekol av eik foretrukket som reduksjonsmateriale, et treslag som gir tett og sterk trekol ved brenning.

En skisse av et forslag for hvordan Heglesvollovnene ble drevet er vist i fig. 3.

Avslutning:

Heglesvollovnene representerer kjernen i en type jernvinneanlegg, som etter forfatterens mening er meget godt egnet for et inngående studium, ikke bare av ovnskonstruksjon og produksjonen av jern, men også hvordan driften har vært. Det er et håp at dette vil fylle ut tomrommet mellom arkeologenes utgraving og naturviternes eksperimenter.

Det er i foredraget satt fram en rekke begrunnede påstander om driften, basert på utgravingsresultatet og spesielt slaggens ytre karakter. En vurdering av produksjon og effektivitet må utstå i denne sammenhengen.

Det er lagt vekt på å presisere at driftsmåten ikke uten videre kan avledes av utgravningsresultatet fordi prosessen har omfattet flere faser. Den typologien som er etablert for slike ovner ut ifra utgravningsresultat har en klar begrensning.

Det føles betryggende at forslaget til driftsmåte nærmer seg den som er kjent for Evenstadprosessen fra 1700-tallet.

I beste fall vil driftsformen, slik den var fra time til time ved hver ovn, etter hvert bli avklart. I neste omgang melder spørsmålet seg om hvorfor 4 ovner er plassert sammen og åpenbart

spørsmålet seg om hvorfor 4 ovner er plassert sammen og åpenbart drevet som en enhet. Kanskje en kan ende opp med å avklare ikke bare driften av hver enkelt ovn, men også arbeidsorganisasjonen på Heglesvollen og andre steder. I så fall vil det være et vitnemål om at naturfaglige og teknologiske synspunkter er anvendbare, også for forhistoriske prosesser og aspekter, som har med samfunnsforhold å gjøre. En avklaring av slike spørsmål må føre til en verdifull og spennende ny vurdering av de første hundreårene i vår tidsregning, både av arkeologer og historikere.

1. Farbregd, O., Gustafson, L., Stenvik, L.F.: Tidlig jernproduksjon i Trøndelag. Undersøkelsene på Heglesvollen. Viking 1984, pp. 103-29. Oslo 1985
2. Espelund, A.: Folder til utstillinga "Jernvinna i 2000 år" på Universitetssentret, Dragvoll aug.-sept. 1985.
3. id.: Jernvinna - vår første metallurgiske industri. Grunnfjellet i norsk industri. Norsk metallurgisk selskap 50 år. Jubileumsbok. Oslo 1986.
4. id.: Direkte jernframstilling i Norge. Nordisk videreuddannelse af konservatorer. Nationalmuseet, København 1987.
5. id.: Construction and Operation of Bloomery Furnaces from the Roman Iron Age in Mid-Norway. The Archaeometallurgy of Iron. International Symposium, Liblice CSSR Oct. 1987. (Comite pour la siderurgie ancienne).
6. Stenvik, L.F.: Gammel jernproduksjon i Trøndelag.
 Espelund, A.: "Rosett"-anleggene på Heglesvollen kan forklare mysteriene.
 id.: Jern? i hui og hast
 SPOR Nr. 1 (1987) (Hefte 3). Trondheim 1987.
 Se også:
 Berre, I.: Skoleelevar blir jarnprodusentar. *ibid.*
 Airola, L.: Mønstersmiing. *ibid.*
7. Espelund, A.: Redskaper og materialer. Jernvinna. Prosjekt ved Huseby skole aug.-okt. 1977. Rapport til Pedagogisk seminar. Trykt opp av skoledirektøren i Sør-Trøndelag.
8. Evenstad, O.: Om Jernmalm som findes i Myrer og Moradser i Norge og Omgangsmåden med at forvandle den til Jern og Staal. Et Priisskrift, som vandt det Kongelige Landhuusholdnings-Selskabs 2den Guldmedaille i Aaret 1782. København 1790.
9. Martens, I: Recent Investigations of Iron Production in Viking Age Norway. *Norw. Arch. Rev.* 15 (1982) 29-44

10. id. Slaggtype, ovnstype, jernvinneplass. Arkeometallurgiska institutets symposium høsten 1985. AMI rapport 6/86. Ludvika.
11. Nakkerud, T.Bloch, Schaller, E.: Slaggroper på Eg, Kristiansand, Vest-Agder. I Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge. AmS-Varia 4. Stavanger 1979.
12. Håvaldsen, P.: Personlig meddelelse.
13. Johansen, A.B.: Problems of Origin and Cultural Background in Early Iron-Production along the Timber-line in South Norway. Offa 40 Neumunster 1983
14. Serning, I.: Prehistoric Iron Production. I Clarke (ed.) Iron and Man in Prehistoric Sweden. Stockholm 1979.
15. Martens, I.: Some Reflections on the Classification of Prehistoric and Mediaeval Iron-smelting Furnaces. Norw. Arch. Rev. 11 1978 pp. 28-47.
16. Espelund, A.: Metallurgisk ABC for jernblestring. I Berre (red.) Frå malm i myra til stål i smia. Skogn 1985
17. Berre, I. Personlig meddelelse.
18. Magnusson, G.: Lågteknisk järnhantering i Jämtlands län. (Dr.avhandling). Jernkontoret, Stockholm 1986.
19. Tylecote, R.F.: The Prehistory of Metallurgy in the British Isles. The Inst. of Metals, London 1986. p. 136.

Illustrasjoner:

Fig. 1. Tre typer av satsvise prosesser:

a - en masovn, kontinuerlig drevet b - en konverter for fersking av råjern til stål c - storkning av stål i en kokille.

Fig. 2. Blesterovn fra Østerdalen, ifølge O. Evenstad (8).

Fig. 3. Forslag til drift av den "utviklede" Heglesvolloven.

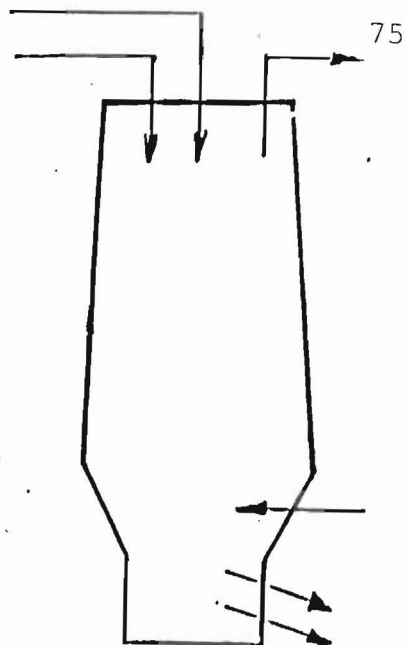


Fig. 1 a.

Masovn - en kontinuerlig
prosess med flytende eller
gassformige produkter.

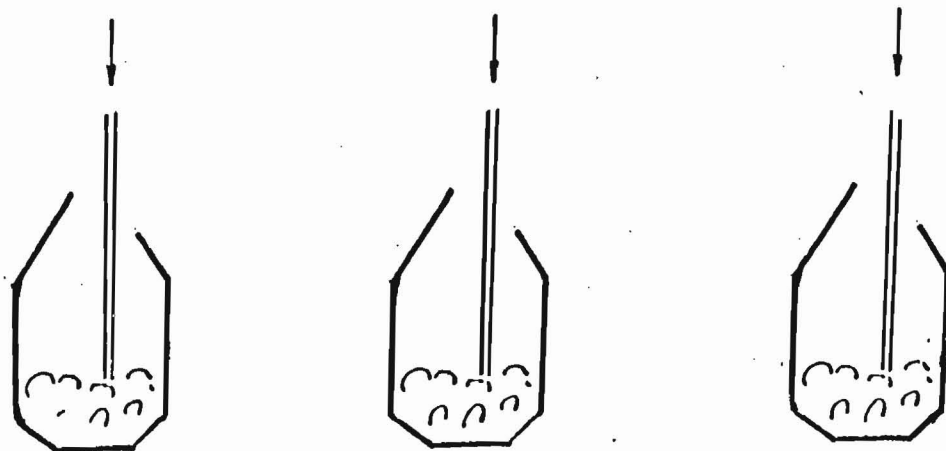


Fig. 1 b. Fersking av flytende råjern i konverter. Satsvis konsentrert prosess.

Endring av sammensetning over tid, men ikke med posisjon.

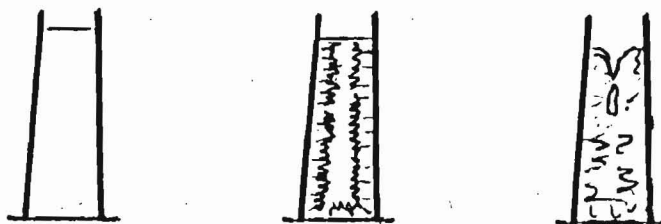


Fig. 1 c. Størkning av stål i kokille. Satsvis fordelt prosess.

Endring i egenskaper både over tid og i forhold til posisjon.

Prosessteknisk med likhetstrekk med tidlig jernframstilling.

TAB. I

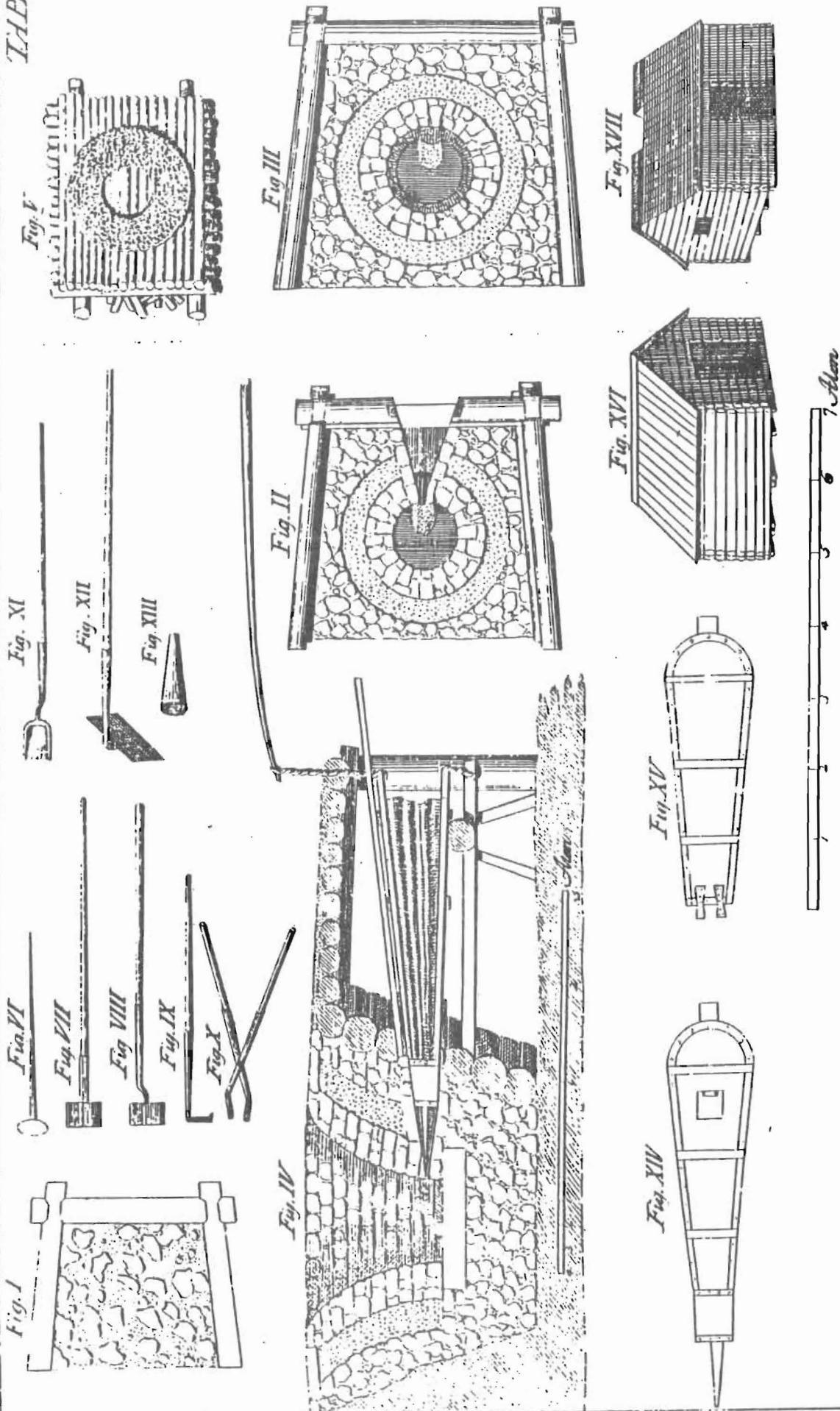


Fig. 2. Den ene av to illustrasjoner i Ole Evenstads bok, utgitt i 1790.

Ovnen, slik den ble funnet.

Ovnen renses for slagg og jord et c.

Gropa er nå fylt med vedskier. Rommet foran er fylt med sand. Sjakt på plass.

Sjakta er fylt med ved og blitt isolert. Veden er antent og brenner.

Veden er overført til trekol. Malm er tilsatt.

Nå er sjakta full av trekol, metall- og slaggparkler. Oppvarmet stein er lagt foran bleståpningen.

Slagg og metall er samlet i nedre del og kan tas ut gjennom åpningen foran.

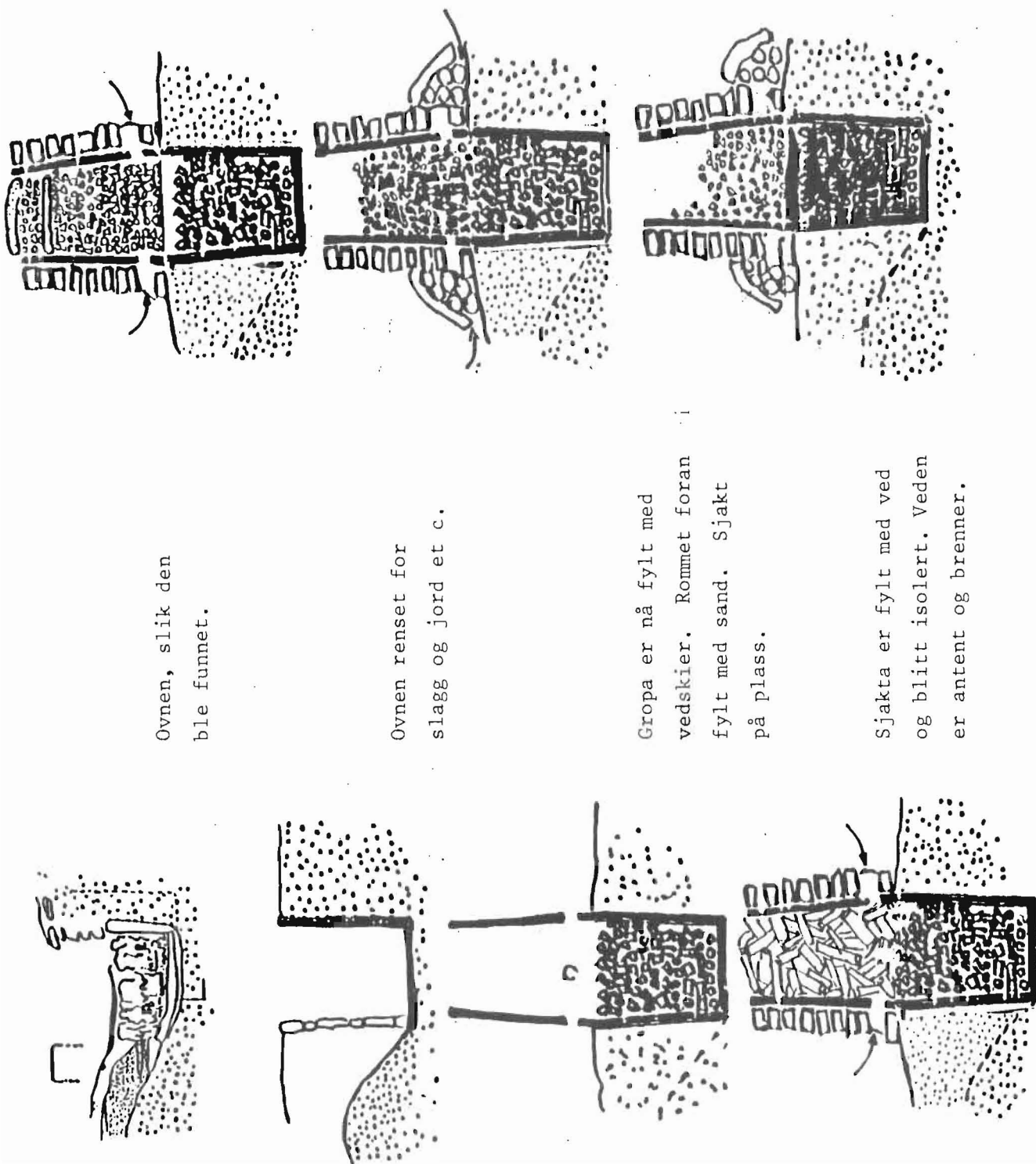


Fig. 3. "Tegneserie" som kan representere driften av Heglesvoll-ovnen.

Grethe Authen Blom:

JERN OG KOBBER I ELDRE SKRIFTLIGE KILDER

For å belyse temaet er det hensiktsmessig å grovdele kildene i to kategorier: de litterære og de administrative. Til de litterære som angår oss hører først of fremst gude, helte og skaldekvadene; videre sagaene, men også den såkalte Snorre-Edda eller Lærebok i skaldskap. Administrative kilder er lover og forskrifter, overleverte brev fra den gno. rettsforvaltningen og fra privatfolks økonomiske forretninger i skriftlig form. Fra ca 1500 får vi et nytt, verdifullt kildemateriale: lensregnskapene og enkelte institusjonsregnskaper.

Jeg har grovraket meg gjennom materialet frem til ca 1550, dvs så vidt inn i overgangsperioden da bergmalmen tar til å fortrenge myrmalmen; et skifte jeg selvsagt ikke har hatt anledning til å studere i dybden. Jeg har sett det som min oppgave å gi en redegjørelse for **hva slags** kilder vi har og **hva** vi kan finne der.

Felles for alle typer kilder fra før Reformasjonen er at de er lite egnet til å svare direkte på spørsmål som interesserer moderne historikere eller andre interesserte. De litterære kildene jeg listet opp ble skapt for å tidtrøyte den fåtallige krigerske overklassen, inkludert kongene. De administrative skulle tjene praktiske formål i samtiden. Bortsett fra lovverkene, som ble anvendt av norske dommere i flere hundre år, er det rene flaks og tilfældigheter som har berget små rester av det som engang ble produsert av de andre typene.

I mere enn hundre år har norske arkeologer hatt jernalderen som et hovedforskningsfelt, og dokumentert hvilken enorm utvikling landet vårt da gjennomgikk. Yngre Jernalder faller s.m. Vikingtid; og det har med rette vært sagt at den var utenkelig uten jernet-ikke bare som materiale for kampens våpen, en like mye for de klinkbygde fartøyer som bar vikingene ut over sjø og hav.

Gude-helte-og skaldekvadene er blitt til i denne tiden. Og selv om tidfestingsproblematikken har opptatt norrønfilologene i generasjoner, er det til vårt formål nok å peke på disse kilders dyrkelse av kamp og våpen: "sverd beit svarte og blanke/sterk tjodkonge kjempe/spydene sang og suste/klang gjorde svungne økser".

Våpnene er mannens viktigste løssøre. På dette område er mennesker og guder like: når jotnen Trym har stjålet Tors hammer kan han intet makte. Så sier Håvamål (første halvdel av 900-årene): På vollen skal en mann ikke gå mere enn et fotsteg fra sine våpen/for det er uvisst å vite når en mann på veiene får bruk for sitt spyd (str.38).

I Snorres lærebok i skaldskap kan vi avlese våpnenes prestisje som på en skala, etter hvor mange omskrivninger og synonymer en dikter kan boltre seg i; de såkalte kjenningar. **Sverd** kan ha over 160 omskrivninger, mye flere enn noen andre. **Øks, spyd og hjelm** bortimot 20, mens skjoldet får 36. Men, føyer forfatteren til, alle slags våpen kan gjengis med jorn eller isarn. (s.202f)

I samme verk fortelles det at i **Midgard** er det en skog som heter Járnvidr = Jernskogen. Der bor de trollkvinner som heter Járnvidjur = jernskogkvinnene. To jette kvinner har jernnavn. De heter Járnglumra og Jársaxa. Den siste er guden Tors medkone.

I det visjonære diktet Våluspå, som handler om jordens opphav og undergang, står et vers (7) som viser dikterens syn på smiekunstens betydning i skapelsesverket: " Hittast æser på Idavollen/og horg og hov høgt dei timra/dei avlar lagde og eignar smidde/dei tener laga og tólar (verktøy) gjorde."

Kongesagaene inntar samme holdning til våpnenes betydning og verdi i krigersamfunnet. Snorres Heimskringla er jo også spekket med skaldekvad, som illustrerer og dokumenterer kongenes hærferder og kamper.

Den høye status våpnene hadde må bare i liten grad ha vært tuftet på importerte praktvåpen for de få. Folk flest hadde mer nøkternt utstyr. De administrative kilder, som jeg straks skal komme tilbake til, viser dette.

Et helt spesielt sagaverk, **Egils saga**, visstnok også forfattet av Snorre Sturlasson-altså omkring 1230, har beføling med jernhåndteringen som en virksomhet der sømmet seg for høvdinger. Forfatteren forteller om Egils far Skallagrim som utvandret fra Norge i Harald Hårfagres tid, fordi han og far hans ble uvenner med kongen: "Skallagrim var stor jernsmed og smeltet mye myrmalm om vinteren. Han lot bygge en smie nede ved sjøen på et sted der han hadde kort adgang til skog." Smelte og smiekunsten måtte Skallagrim ha lært i Norge. På Island kom han til ubygd land.

Skallagrim drev smiearbeidet hardt, hører vi; arbeidskarene hans klaget over at de måtte stå opp så grytidlig. Da kvad Skallagrim:

"Ut or seng i otta/ lyt alle smedar/ skal dei vinna pengar vene/ vindbelg knuvar grua/ sleggje smell i gullet/ sindret sprutar/ elden fræser og kvæser". (Kap 30) Dette er vel det eldste bevarte "dikt fra arbeidsplassen", i smia!

Over til de administrative kildene skal vi først ta for oss lovene. Det er de som bygger bro mellom kvad og sagaers byrge våpen- og kamptradisjoner og jernutvinningen til mer prosaisk bruk.

Det tok flere hundre år å innordne Norges innbyggere i et statssamfunn. Men et av de første steg på veien ble bøndenes lovfestede plikt til å forsvare landet. De skulle både bygge, vedlikeholde, utruste og bemanne leidangsflåten. Skipene skulle klinkbygges med jernsøm; til hver tofte måtte de skaffe bue og to tylfter skjeftede piler, dvs. med jernspiss. Dette er Gulatings- og Frostatingslovens normer fra tiden før ca 1250. (Gtl 309, Frtl VII, 13).

I tillegg til denne kollektive plikt skulle hver voksen mann selv skaffe seg de såkalte folkevåpen: øks eller sverd, spyd og skjold. Øksa var en bredøks på langt skaft, og minstekravet til et skjold var at det var forsterket med tre jernband tversover. I Magnus Lagabøters landslov fra 1274 er skjoldets standard blitt bedre: Nå kreves også overbrettet jernband rundt omkretsen. For spyd, sverd og øks gjelder som før; men det gis nærmere forskrifter for kvaliteten på disse våpen. Spydet-som øksa- er tydelig skjeftet på skaft som skal forsvarlig nagles tvers igjennom. Folk som eier mere enn 12 mark må i tillegg møte med stålhue. (LL III, 11). LL III, 12 foreskriver streng kontroll med at forskriftene blir overholdt på det årlige våpensyn; og det er forbudt å selge sine folkevåpen. Unge menn var pliktige til å skaffe seg disse våpen så snart de var gamle tok til å ta tjeneste: Første året måtte en kar av lønna skaffe seg øks, andre året skjoldet og tredje året spyd. Øksa kom til å fortrenge sverdet som bondevåpen. Sverdet ble beholdt de fornemme.

Landslovens bestemmelser ble innskjerpet av kong Magnus Eriksson i 1347 (NgL III nr. 84): Ingen sysselmann må la seg bestikke til å overse at folk ikke har de våpen loven påbyr. Har en mann manglet våpen i tre år p.g.a. forsømmelse med kontrollen, skal sysselmannen eller hans lensmann miste sin stilling.

Kravet om at alle voksne menn, uansett rang og stilling, minst skulle eie de tre lovbevalte folkevåpen, forutsatte at det var lett og overkommelig å få kjøpt ferdige våpen, eller at man overalt i landet hadde muligheter til å skaffe seg jern og smi sjølv eller bestille hos bygdesmeden.

Før vi forlater dette avsnitt om **jern som våpen** skal vi ta en gløtt inn på våpenloftet til en vestnorsk storbonde, som rimeligvis hadde rang av ikke-bordfast hirdmann dvs. hjemmeboende, ikke daglig tjenestegjørende kongsmann. Han og alle på gården hans døde i mannedauden, og ut på sommeren 1350 ble det holdt skifte:

Eirik Bukk på Finne (Voss) etterlot seg 6 bredøkser, 7 spyd, 4 sverd, 1 mækir (et hugg og stikkvåpen), 5 skjold av forskjellig utførelse, alle over minstestandard; for i tillegg kom 6 bondeskjold. Utover dette eide han en **plate** d.e. et brystpanser, 4 stålhuer, 1 jernhatt og en lukket hjelm. (DN I 321)

Andre dokumenter, særlig testamenter, bevitner at tidens stormenn fra hvem de profesjonelle krigsmenn ble rekruttert, eide flere sett med sverd, harnisker og stålhansker osv.; dessuten rustningspanser også til stridshestene.

Fullt krigsutstyr og vel så det, var også statussymboler for den høyere geistlighet: biskoper og domkapittelmedlemmer. Kannik Ogmund Olafsson som døde i Nidaros i 1382 (DN II 468), testamenterte til én person panser, sverd, jernhatt og stålhansker. En annen fikk "det største sverdet jeg eier", stålhansker, panser, stålhue og leggskinner.

Nå er det rimelig at mye av storfolkets utstyr på 1300-tallet kom utenfra, f.eks fra Sverige, som Norge var i kongefelleskap med, og hvor både verdslig og geistlig aristokrati hadde råd til å skaffe seg langt kostbarere utstyr enn sine norske standsfeller.

Men i 1200-årene, da Bergen var kongens og regjeringens hovedsete, forutsatte Byloven at i hvert fall denne byen hadde profesjonelle våpensmeder.

Landsloven og Byloven regnes som rikssamlingens juridiske fullender, men med statsmaktens vekst vokste trangen til detalj-regulering av mange flere sider av samfunnslivet enn disse lovene hadde gitt uttrykk for. Bare to år etter Magnus Lagabøters død i 1280, er formynderregjeringen for hans sønn i full sving med å gi forskrifter for varehandel og håndverksarbeider i Bergen (NgL III, nr 2). Blant de fag som blir underlagt regulering er jernsmedene og kobbersmedene. I detalj blir det i Retterboten av 1282 listet opp hva de kan ta i betaling for å smi. Det dreier seg dels om stykkpris for henholdsvis låser, kistebeslag, øks stålhuer osv. Dels er beregningsgrunnlaget hvor mye kobber eller jern som går med til forarbeidingen.

Tidens småvekt for jern og kopper var lispundet på 6,17 kg, dvs 1/24 av et vestnorsk skippund på ca 148 kg. Kobber treffer vi nesten bare på i lispundenheter; mens jern som jo både var langt billigere og hadde et langt videre bruksområde, ble i storkjøp angitt i skippund. I hele perioden ca 1300-1500 er prisforholdet kobber til jern 6:1.

Arbeidstakstene gir liten mening for moderne mennesker. Vi kan vanskelig vurdere hva man i samtiden regnet som dyrt eller billig, men de styrendes intensjoner var å opprettholde en "rettferdig pris."

Retterboten av 1282 gir ingen opplysning om hvor kobberet kom fra, men Bergenshistorikeren A. Nedkvitne går ut fra at det i 1300-årene ble importert fra *Balticum*. (angir ingen skikkelige belegg).

Derimot er det i samme kilde vi finner den interessante presisering at smedene i Bergen kan ta to ørtuger i betaling for hvert lispund de slår skipssøm av (jernnagler), dersom de anvender "Prøndsku jarne æda ualdresku", trønder- eller valdresjern.

Senest i 1377 når prisreguleringen jernsmedene i Nidaros: De takster som angis herfra forutsetter at oppdragsgiverne-blant dem nevnes bønder-selv skaffer råmaterialet, ja dels holder kost og drikke; mens smeden skal holde kull. Kobbersmiing nevnes ikke i denne retterboten (NgL III nr 110).

Den siste og mest omfattende gno. prisforskriften blir utferdiget i Bergen i 1384 (NgL III

nr.120).Den regulerer arbeidet såvel for kobber-og jernsmeder som gullsmeder. Men denne gangen er det ikke et eneste håndverk eller fagarbeide som slipper unna regulering. Regjeringen hadde lenge holdt forholdene i denne by under oppsikt. Allerede da det eldste takstregulativet ble sendt ut i 1282, var det tegn til at flere av byens fagarbeidere var i ferd med å organisere seg, etter tysk mønster. Hanseatene i byen tjente nok som forbilde. I 1293 slo regjeringen hardt ned på denslags tendenser. Samtlige fagforbund, "gilder" ble forbudt, deriblant gullsmedenes og jernsmedenes.(NgL III nr.6)

SMEDENE

Det gno. ordet smidr ble ikke bare anvendt om folk som forarbeidet gjenstander av metall. En snekker eller treskjærer var tresmidr og en steinhogger kaltes steinsmidr. Men vi kan gå ut fra at de fleste navngitte enkeltpersoner som forekommer i brevskaper fra 1300 og 1400 årene har vært jernsmeden. Stedsnavn som Smedbøl, Smedsrud, Smedstad og Smedhaug m.fl. er det rimelig å forbinde med denne uundværlige spesialisten,bygdesmeden.

Vi har mange indikasjoner på at smedenes høye anseelse i Viking tiden fortsatte inn i middelalderen. De bodde slett ikke alle på småbruk, som navnene Smedbøl og Smedsrud kan tyde på.

Flere av dem sitter med større gårder, eller har midler til å kjøpe jordegods (DN VII,63,IV 272). Omkring 1300 omtales en Bård smed i Oslo som hadde vært i Jerusalem på pilgrimsferd (DN III.45) Storforetak som klostre og bispeseter og selvsagt kongsgårdene og de senere befestede hus hadde egne smier.

Fra 1347 har vi bevart testamentet til Kolbein Hallsteinsson smed fra Stavanger (DN IV 119). Han har midler til å kjøpe seg sjelemesser ved domkirken, og til slutt sies det at han har utført så mye godt arbeide for bispesetet gjennom to bispers tid, at daværende (3dje) biskop tilstår ham losji i bispegården på sine gamle dager, med kost ved kjertesveinenes bord, dvs.blant de fornemste av tjenerskapet.

Erkebiskop Olav Engelbriktssons etterlatte regnskapsbok for årene 1532-37 viser at han i denne tiden hadde fem smeder i sitt brød, hvorav Einar sammenhengende i 4 år.Smedene til erkebiskopen får gjerne 10 mark om året i lønn,plus diverse klede til bukse og trøyer. Nils smed på Alstadhaug ansetter Olav Engelbriktsson som sin setesvein dvs. som oppbørsselfogd, en meget god stilling.

Kanskje det klareste vitnesbyrd om bygdesmedenes anseelse er deres opptreden ved de besiddende klassers forretninger av alle slag, der loven forlangte minst to vitner,mens praksis og konvensjoner gjerne medførte fremmøte av en lang rekke "gode menn".

Dette gjelder særlig ved eiendomshandler, i forlikssaker, ved avleggelse av vitneprov m.m. Som regel blir bare 4-6 av de mange fremmøtte nevnt ved navn. Det er blant disse vi kan finne en smed.Og han står sjelden sist i rekken; i et tilfelle endog foran en klerk (DN XII 29).

I slike sammenhenger finner vi ,særlig i 1300-årene, smeder over hele landet, bla. et par på Vestlandet i forbindelse med Munkeliv klostres forretninger (DN XII 20,29 Jfr.DN I 205 fra Sogn og DN I 95 fra Skien). Fra Nidaros kjenner vi en fra 1345 (DN V 182).

I dette år er Arne smed en av vitnene i en komplisert eiendomssak som går for lagmannen i Breidestova i Kongsgården.

De fleste vitnesbyrd om slike smeder som teller blant "de gode menn",skriver seg imidlertid fra jernbygdene i Valdres og nordre Gudbrandsdalen ; i alt syv belegg fra første halvdel av 1300-årene (N.Aurdal DN II 110,186 ,V.Slidre DN II 257.IV 209,XIII 12, Vågå DN V 166,Sjåk DN XI 24)

Nedover på flatbygdene er det også flere opptegnelser om vitneførende smeder, bl.a. Emund smed som dels opptrer i Oslo, dels i Kråkstad; i alt fem ganger mellom 1330 og 1341, alle gangene gjelder eiendomsforretninger på Follo (DN I 183, III 168, IV 192).

Siste gangen er han nevnt i et riktig "smedbrev" fra Hobøl: Reidar på Foss, Karl på Smedbøl, Emund smed og Eiliv smed er alle vitner i en forlikssak. (DN II 244).

Personer med tilnavnet kopperslager dukker først opp i kildene mye senere, skjønt kobbersmeder som egen yrkeskategori omtales i rettarboten fra 1282. I de eldste kildene er det vel helst kobber- og bronsesmeder som går under betegnelsen katlasmidir = kjelesmeder, eller eirstøypir. Eir er et annet navn på kobber (det samme vi idag har som irr, med spesialbetydning. Over ght og got.

går begge ordene tilbake til latin: cuprum og aes).

Lasse kobberslager nevnes i et brev fra Jemtland i 1428, også han er vitne ved en gårdhandel (DN II 697). Alf kobberslager er borger i Oslo 1480 (DN V 909). Gudleik koobberslager er avansert så høyt som til rådmann i Trondheim 1488 (DN V 939). Lasse og Olav kobberslagere nevnes i Trondheims eldste skatteborgerliste fra 1520, der de hører med blant de mer velstående (NRJ II).

At yrkesbetegnelsen i dette tidsrom mer alminnelig knyttes til individer stemmer overens med at det først er utover i 1400-årene kobber og kobberartikler for alvor blir omtalt i norske kilder.

Noen eks.: 1412, en eirketill inngår som betaling for en gård, Grøneberg i Vestfold. (DN IV 788). 1462, tre kopperkjeler gjør samme nytte som varepenger i et eiendomsoppgjør på Eikeland, Vikedal i Rogaland. (DN XXI 525). I 1466 vil en mann i Fåberg gjøre opp for seg enten med en 5 kyrlags hest eller tilsvarende i sølv og kobber (DN XXI 553). År 1482 blir to markebol jord i Ås i Sandsvær, taksert til tre kyrlag, men betalingen skal skje i kobber og sølv. (DN XI, 248).

I 1432 ble domkirken i Nidaros herjet av brann. Den driftige erkebiskop Aslak Bolt drev restaureringsarbeider i årene som fulgte. Han lot forferdige en kopperbaldakin over St. Olavs skrin, og da han i 1443 var på riksrådsmøte i Bergen, bestilte han s.m. biskopen der en kyndig klokkestøper fra England. Det ble skrevet en kontrakt med to engelske kjøpmenn som skulle hente spesialisten. Nå vet vi ikke om han kom, men arbeidskontrakten har interessante detaljer. De to biskoper bestilte tre klokker hver. De to største skulle støpes av 12 eller 13 skp.kobber, og metallet skulle begge biskopene skaffe. Det står desverre ikke hvorfra.

JERNBYGDENE

Hittil har vi konstatert at gno. prisforskrifter omtaler **trønderjern og valdresjern**. Likeså at det i brevmaterialet kan lokaliseres særlig mange smeder i Valdresbygdene N.Aurdal og V.Slidre, samt i N.Gudbrandsdalens grensebygder mot Trøndelag. En tredje jernregion er **Østerdalen**, skriftlig belagt i det store privilegiebrevet kong Håkon VI gav innbyggere her, da han som 18.åring besøkte trakten i 1358 (DN VI 238). "Dere skal vite at Vi også tenker på dere som bor langt fra hovedbygdene", sier kong Håkon. I brevets p.1 lover han at østerdølene ikke skal betale mer i skatter og avgifter enn de har gjort før. I p.2 viser han stor forståelse for utkantnæringenes betydning: "Skulu per ok hedan af ok allir adrir peir sem jarnvinnu vilia plæghia j almænningom varom frealslegha niotande verda sinnar orko ok malmss, eftir þeim siduanna sem at forno hefuir veret her j dalenum" (For fremtiden skal dere og alle andre som vil utvinne jern i allmenningene våre fritt få drive sin virksomhet og malmsmelting etter slik sedvane som fra gammelt av har hersket her i dalene.) P.3 gir østerdølene tillatelse til å selge produktene sine hvor i landet de vil.

Dessverre er brevmaterialet fra Østerdalen så ynkelig lite at det ikke tillater noen videre

slutninger om jernvinna der i middelalderen.

Desto gledeligere kan vi konstatere at i de bygdene hvor det navngis mange smeder, der omtaler brevmaterialet også ofte jern.

Beleggene er særlig mange i 1300-årene, men de forekommer til inn på 1500-tallet.

I disse bygdene må jern ha vært litt av et allemannseie, for jernet ble brukt som en av flere standard betalingsmidler, også kalt varepenger, på linje med kyr, korn og smør. Vi ser at folk gjør opp en handel i bare jern, eller i jern og penger, eller i jern penger og kyr.

Dette betalingsjernet ble levert som et halvfabrikata, i tynne små jernstaver som ikke veide mere enn ca 100 gr. Regneenheten var "hundre", dvs. et storhundre på 120 stk, samlet vekt ca 12,3 kg. Et slikt storhundre ekvivalerte verdien av en ku. (Steinnes s.103,139) Ofte finner vi i omtale av utsmiing (i takstforskrifter og 1500-årenes regnskaper) benevnningen teint eller teent jern, d.e.jern uttrukket til lengre tynne staver eller stenger (også benevnt stangjern). Dette forprodukt nevnes oftest i forbindelse med smiing av skipssøm.

Eksempler: Erstatningssak, Ål i Hallingdal 1309 (DN II 99).Mannen som skal betale erstatning kan velge mellom å betale en hest og en okse, eller 300 jern og en okse. 300 jern ekvivalerer altså en hest.

I årene 1331-37 kjenner vi 3 gårdhandler i N.Aurdal der jern inngår som en del av betalingen, s.m. korn og kyr (DN II 186,225 og X 27). Fra Gudbrandsdalen finnes det også flere eks.: Fåberg i 1340 (DN XV 17 og Øyer 1342 (DN II 252). I begge tilfelle er 200 jern en del av en eiendomsbetaling. På Øyer i 1345 er det tale om større verdier. En gård skal der betales i tre terminer, med i alt 15 kyr og 500 + 500 jern. (DN II 271). Landskylda av en eiendom i Ringeby, som i 1348 blir testamentert til Hallvardskirken i Oslo, skal hvert år betales halvt i smør halvt i stangjern (DN IV 324). Så sent som år 1500 betaler "Torkel i Fron" 100 jern i bot for å ha vært med å slå ihjel en fut.

Fra en helt annen kant av landet, Stavanger i 1308, heter det om en eiendom som blir testamentert til domkirken at arvingene kan innløse den enten i smør eller i jern. (DN IV 77).

At det ikke er bevart tilsvarende brev fra Trøndelag kan henge sammen med den sparsomme overleveringen. De kirkelige institusjonene i Nidaros eide tilsammen så mye jordegods at storparten av hjemmelsbrevene på jordeiendommer var blitt overført til kirke-arkivene. Dessverre er storparten av disse enten blitt fortært av brann eller forkommet på annen måte. Men trønderjern hører vi sporadisk om likevel: I 1338 skriver biskop Håkon i Bergen til kannik Arne Vade i Nidaros og sier bl.a. at han gjerne vil kjøpe jern fra Trøndelag dersom tilførselen blir rikeligere. Det har den vel blitt et par år senere, for da takker samme biskop for 2 1/2 skippund jern, som ble sendt nedover med abbeden av Tautra, som skulle ha seg en Bergenstur (DN VIII 102 og VII 173.)

Den omtalte kannik Ogmund Olafsson, han som eide minst to kostbare sett av våpen og panserutstyr, testamenterte også bort et skippund jern. Det var vel det lokale. I erkebiskop Aslak Bolts jordebok fra 1440-årene finner vi gården Flataberg i Håltålen. Den er skyldsatt til 2 pund jern i året. (Utg.s.48)

Her kan innskytes at det er i forbindelse med erkebiskopenes godsinteresser vi har fått den (for meg!) eldste kjente omtale av et norsk kopperberg; fra så tidlig tid som 1343. I dette år blir det på initiativ av Sira Jon, erkebiskop Pål Bårdsons rådsman (økonom, godsforvalter), iverksatt en grenseoppgang for å avklare utstrekningen av utmarkene til tre-fire gårder i Fron, Gudbrandsdalen. En av disse gårdene, S. Dalsegg tilhører erkestolen. Grensegangen, som blir administrert av lensmannen, foretas av 12 kjentfolk blant bøndene i bygda. "Endemerker" og merkesteiner blir detaljert referert i lensmannens bevarte brev (DN XXI nr. 67). To ganger henvises til den merkesteinen som står j koppæræbærghi.

Dette koppperberg kan ha vært et dagbrudd, hvor bøndene har tatt ut noe koppermalm. Med referanse til befolkningens allmene kyndighet i å behandle metaller (jern), vil en slik antagelse ikke være usannsynlig. Umulig er det ikke at Sira Jon nettopp kan ha vært interessert i å se nærmere på denne virksomheten i Dalseggs utmark.

Samme biskop Håkon som ønsket trønderjern så seg også om etter forsyning fra andre kanter. I 1339 anmoder han i et brev biskop Eirik i Stavanger om å få kjøpt en lest av ham, d.e. 12 skp. Og det haster! "Helst med den av Eders sveiner som nå er ventet fra Sogn". Dette må være **Valdresjern**. I middelalderen hørte de øvre bygdene av Hallingdal og hele Valdres til Stavanger bispedømme.

Fra Valdres gikk en eldgammel ferdselsvei over fjellet ned til Sognefjorden.

LENSREGNSKAPER FRA 1520 -ÅRENE

Som sagt er kildematerialet dårligere fra 1400-årene enn fra 1300-tallet, men straks etter 1500 får vi en uhyre interessant kilde, nemlig regnskapene fra det vidstrakte Bergenhus len, ført på "slottet" i Bergen. Det er både et oppebørselregnskap over alleslags "inntekter" og et utgiftsregnskap, det første i sitt slag som er bevart.

Bergenhus var på 1500-tallet hovedoppebørselsentrum for vest-midt-og nord Norge.

Regnskapene, som omfatter årene 1516-23, er etter vår standard uryddig ført; men de er også publisert på en måte som gjør det til et tidkrevende arbeide å telle opp de mengder og vektangivelser som oppgis for de forskjellige varene. Det har jeg derfor ikke begitt med inn på. Man må også passe seg for de mange dobbeltoppføringer. Vareslagene er delt inn i fem-seks hovedgrupper, som får hvert sitt underregnskap. Gruppen **metaller** gir et vell av detaljopplysninger. Her finner vi kobber og jern sammen med bly og tinn; mens sølv er ført sammen med **penger**. På inntektssiden føres **jern** både når denne vare er kommet inn som skatt, eller når den er innkjøpt "til gårdens behov". Det er derfor rettere å si at vi i disse regnskapene finner innførsler av alt som i løpet av et år kom inn til jernlageret på Bergenhus. I mange tilfelle oppgis også herkomststedet, som samtidig indikerte kvalitet og noe forskjellig prefabrikat.

Under **utgift** fører slottsforvalteren opp hvert eneste kvantum som er gått ut av lageret-stort eller smått- enten det er solgt, gitt ut som arbeidslønn istedenfor penger, byttet i en annen nyttig vare eller tjeneste eller forbrukt til et stort sortiment av smiearbeider, som regel til slottets eller kongens behov. Man er bl.a. igang med å bygge et skip til kongen; det får av det beste jernet til skipssøm. Som helhet gir regnskapene et livlig bilde av jernomsetning og utsmiing, indirekte også av den administrasjon og forretningsvirksomhet slottsherren måtte drive med alleslags varer.

Kobber kommer på samme måten inn i regnskapssystemet; men her tar vi jernet for seg først, skjønt jern og kobber og de andre metallene er ført om hverandre i underregnskapet for metallene, ettersom noe gikk inn eller ut.

Til Bergen kommer følgende jerntyper: **Trondhjemsjern**, **Herjedalsjern** (skrevet Herdalsj.), **"Hynnendalsjern"** (et ukjent stedsnavn, men det må være norsk). Alle tre typer blir angitt i **pund**, dvs. skp.

Dessuten blir det tilført og forbrukt **Osmundjern**; endel i små partier eller kvanta angitt i stykker, hundre eller lispund, men også i fat, i overensstemmelse med svenske kilder. Det hender vekten bare angis i pund (gjelder alle metalltyper) og da blir det straks verre om ikke andre opplysninger gir holdepunkter.

Noen steder spesifiseres nemlig pund både for Trondhjemsjern og Osmundjern også som **bismerpund**, og det er mindre enn lispundet, nemlig 5,14 kg.

Det hender at man får en aning om hvor i Sverige Osmundjernet kom fra: "Item Lxxjx marc (79m), 4 skil skal **Jørgen** (= slottshøvetsmannen) betale for IX (9) fat Osmundjern som Lambrit i Sallisborg (Sarpsborg) sende hit, V^o (= 500) vti hwert fadt og hvert 100 for xx8 sk. (her kombinerer skriveren plutselig romertall, som han sedvanlig bruker, med arabiske tall, NRJ I s.152).

En noe flyktig gjennomgåelse av disse regnskapene tyder på at det er Trondhjemsjernet som utgjør hovedtyngden i tilførslene.

Herjedalsjernet forekommer mer sparsomt, men i et par interessante sammenhenger: I 1520 oppgis at 426 pund Herjedalsjern ble mottatt i skatt fra Selbu (NRJ I s.579). Det andre eks. er fra Tautra klostres landskyldregnskap 1532 (DN XI 584) :Item vpbar wor vmbodzmand i Herdal 1^o (= 100) **smalt** og xviii (18) pund **jarn**, oc ligger samme jarn innunder fiellet hoess **vort jarn**. Opplysningen tyder på at klosteret både fikk inn jern i landskyld fra leilendingene sine på klostergodset i Herjedalen, og at de i tillegg drev oppkjøp av mere jern der. I en inventarliste fra klosteret fra samme tid står oppført "et fullstendig sett smie-redskaper".

At Herdalsjernet virkelig kom fra Herjedalen, og ikke bare var en betegnelse på jern som var blitt produsert etter en prosess som opprinnelig hørte hjemme her, skulle være dokumentert med denne notisen fra Tautra. Dessuten opplyses i Bergenhusregnskapet fra 1520 (NRJ I s.579) : "Dette efterskrevne jern = 5 lispund Herdalsjern, kom fra Olaf Galle". Galle var kongens høvetsmann i Jemtland, som også Herjedalen sorterte under.

At likeledes **Trondhjemsjernet** ble tilført fra Trøndelag foreligger det i det minste en sterk indikasjon på i følgende innførsel fra 1518: "Item xx p. Trwndhiemss iern køfft aff Peder Jenssen paa erchebispens gaard". Her menes ikke den i Trondhjem, men den store handelsgård erkebiskopen eide på Strandsiden i Bergen. Ved en fullmektig drev han derfra en omfattende eksport- og importhandel.

Det samme må gjelde de 181 pund Trondhjemsjern Hr.Niels Henriksson til Austråt lar føre til Bergen i 1519 (NRJ I s.354.)

Ser vi på hva jernet på Bergenhus ble anvendt til, så var det til å smi alt mulig fra digre gryteøser, til bolter, hengsler, vindusbeslag, låser og lokk til kanonhull. Trondhjemsjernet ble i særdeleshet brukt til skipssøm (Jfr.således alt i 1282), og til bolter og luker på skip. Videre til andre saker hvor man ønsket beste kvalitet, som f.eks dørhengsler på "slottet". Et parti ble sendt til Hesby, Kronens store gård i Ryfylke. (se under sakreg. til hvert bind av NRJ, I-IV).

KOBBER

Første halvdel av 1500-årene må ha vært en riktig "stortid" for kobber i Norge. Kobberkjeler og kanner tør ha blitt alminnelig også hos vanlige bønder, og **råkobber** seiler opp ved siden av, eller fortrenger jernet som varepenger.

Det siste ser ut til å være tilfelle på Østlandet, der vi på 1300-tallet fant så mange eks på **jern** i hundrer var gjengs betalingsmiddel, f.eks. ved eiendomstransaksjoner. Fremdeles verdsetter man jorden her i kyrlag, men nå heter det at betalingen skal skje i sølv og kobber. Flere ganger er også kobbergryter eller kjeler en del av oppgjøret.

Eksempler: 1523, Brandval i Solør, en gårdhandel hvor 10 pund kobber, men også 100 jern går inn i kjøpet. (DN XXI 739). 1536 Hjartdal, nabobygda til Seljord, to markeb. jord, verdsatt til 12 kyrlag, skal betales "i gode penger, kobber og sølv" (DN XXI 819). Samme bygda og året, 6 markeb.jord, salgspris 6 mark gull (= bare regneenhet = 48 m sølv), skal betales i sølv og kobber. (DN XI 631). Ved et tredje salg i Hjartdal 1542 er betalingsmåten den samme. (DN XI 659).

Hamar 1538: Halvparten av Balke gård i Løten overdras for 24 kyrlag, skal betales i sølv og kobber. (DN XXI 837). 1545, Ringsaker, odelsgoods verdsatt til 12 kyrlag selges mot betaling i sølv og kobber. (DN XXI 899).

Tilstedeværelsen av råkobber hos bønder i nettopp disse bygder tør vi sette i forbindelse med et norsk kobberverk;

Sundsberg kobberberg i Seljord i Telemark. Denne delen av Telemark hørte før Reformasjonen til Hamar stift, og det var biskop Mogens av Hamar som i 1524 fikk kgl privilegiebrev på å drive det (NRReg I s.3), men malmbyggingen hadde ganske sikkert startet tidligere.

Ved Reformasjonen ble Hamar stift utslettet av kartet og av kirkeorganisasjonen; Sundsberg ble lagt under Kronen. Det må være kobber fra dette verk kong Kristian III har i tankene da han i jan. 1540 skriver til sin stattholder i København angående diverse tiltak til krigsrustninger; bl. om støpning av kanoner **av kobber fra Norge**. Kongen ber stattholderen sende bud til befalingsmannen på Akershus etter en ny forsyning "om I kunde formerke att thet kobber aff Norge ville forslå noghet ther till". (DN XIII 654)

Et par måneder senere skriver Peder Hansen på Akershus direkte til kongen at ordren om å sende kobber er mottatt, og varen skal bli innskipet med det første. I samme brev informerer han også om problemer med driften av sølvverkene i Sandsvær og Telemark. (DN XIII 656). Det foreligger også et kansellinotat om det samme kobberet. (DN XV 552).

Et inntrykk av finfordelingen av kobber/kobbersaker utover på østlandsbygdene omkr. 1500 gir det Register som ble satt opp på Akershus år 1499 over "de bønder som slo Lasse Skjold ihjel".

(L.S. var slottshøvetsmann hr. Knut Alvssønns fogd. Hovedmennene ble henrettet, resten fikk kollektiv straff). Dette register inneholder navnene på over 170 bønder i Nes på Romerike og i Odalen. Over 70 stk betaler hele eller noe av boten i råkobber.

I tillegg er det noen som må gi slipp på kobberkjelene sine.

Det er i denne listen Torkel i Fron opptrer som en enslig slenger med 100 jern. I alt ble det tvangsinnbetalt kobber til en verdi av 292 mark sølv; mot 20 mark i rede penger og ca 350 lodd sølv (1 lodd s. er omtr. = 1m.s. DN XIII 164).

Vi kan kanskje våge å trekke den slutning at Hamarbispes, som fikk kobber fra eget verk, kan ha solgt eller byttet bort endel til bønder i stiftet. En annen mulighet er at Østlandsbygdene har importert kobber fra Sverige.

Også Olav Engelbriktssons regnskapsbok har noen notiser om **kobber**, men bare der dette metall er anvendt som varepenger og gitt ut i lønn eller betaling for tjenester. (i alt tre tilfelle, se sakreg. under kobber). Det er ikke bevart noe regnskap over utsmidd kobber og det antydes ingen steder hvor dette kobberet er kommet fra.

En mulighet kan være lokal produksjon. I år 1516 beretter Olav Engelbriktssons forgjenger, erkebiskop Erik Valkendorf, til kong Christiern II at han på dennes befaling en tid har hatt to svenske eksperter hos seg for å lete opp malmberg. De har funnet et kobberberg 8 store mile fra Trondhjem (sted ikke nærmere angitt), og de er villige til å sette igang prøveproduksjon om de får gunstige betingelser. Vi hører aldri noe mer om saken, men utelukket er det ikke at noen har forsøkt seg. (L.Hamre s.46f.)

Mer kobber fra Trøndelag dukker opp i de nevnte Bergenhus lensregnskaper. Heller ikke her får vi noen hint om produksjonsstedet for kobbermalmen, men skriveren anfører samvittighetsfullt hvem som var nærmeste leverandør, og det var såmen bønder som betalte

190

1518.

Jtem xij iern bolther kom till styrelycker till thett lilde skiff en
 aff the bolther kom till en aff kalck iactherne
 Jtem j tynne wragh søm forarbedit till samme skiff
 Jtem iiij pundt osmwnde iern som forke oc naffre bleff giorde aff
 Jtem xiiij pundt osmwnde iern forarbedit till portehengsler till then
 store portt oc mwriern till sammæ portt

Summa lateris

Jtem ~~xxv~~ pundt osmwnde iern
 Jtem j pundt Trvndhiemss iern
 Jtem j tynne wragh søm
 Jtem ij gamble øxer
 Jtem xij iernbolther

- p. 152. Jtem xvj pundt osmwnde iern till portiern till søporthen
 Jtem xviiiij pundt osmwnde iern szom bleff wdracthe till thene att
 slaa lecthe spigher aff till sallen
 Jtem ij bolther ad *idem*
 Jtem v pundt Trvndhiemssiern(!) till hengsle till søporthen
 Jtem ii pundt osmwnde iern till hengsle iern till samme søpor(t)
 Jtem vj pundt Trvndhiemssiern till mwriern oc hengsle till till(!)
 kelderdøren then ene nest søporthen *tempore assumptionis Marie*
 (c. 15 Aug.)
 Jtem ij pundt Trvndhiemss jern till mwriern *eodem tempore*
 Jtem v pundt Trvndhiemss iern till mwracker till ij kelderdørre
 Jtem v pundt Trvndh(i)emss iern till brandstenger paa thett lilde
 taarn
 Jtem v pundt Trvndhiemssiern till laagh faare bysszehwl

Summa lateris

Jtem ~~xxxv~~ij pundt osmwnde iern
 Jtem ~~xxv~~ij pundt Trvndh(i)emssiern
 Jtem ij bolther

- p. 153. Jtem xvj pundt osmwnde iern bleff wdracth till theneiern att sla
 lecthesøm aff till sallen
 Jtem iiij pundt osmwnde iern till kroghe oc bysszer till the skiffwer
 som sade i the blocke som the wnde steen opp mett till
 sallen

1518.

Jtem iii pundt osmwndeiern till blaackæ
 Jtem iij pundt Trvndhemss iern till hagher oc mwracker oc hengsle
 till kelderdørren circa Bartholomej (c. 24 Aug.)
 Jtem ij pundt Trvndhemssiern szom the brande bleff giortt aff
 offwer thet lilde taarn
 Jtem xx marc koffwer som the laagh bleffwe giort aff offwer then
 rendhe som løber i genwm stegerhwsit
 Jtem ij pwndt koffwer knappe oc ffløwe bleff giortt aff till the
 brandhæ offwer thett lilde taarn *tempore exaltacionis sancte*
crvcis (c. 14 Septbr.)
 Jtem ij pwnd Trvndhiemss iern till bøsse kammer

Summa lateris

Jtem xxij pund osmwndeiern
 Jtem vj pundt Trwndthiemssiern
 Jtem ij pundt xx marc koffwer

Jtem j pundt Trondhiemss jern till hengsler till porthen p. 154.
 Jtem i pund ix marc koffwer brwm szom ett spield bleff giortt aff
 circa festum Simonis et Jude (c. 28 Octbr.)
 Jtem i skippundt j l^d koffwer fick Kortt Woldhenhwszen wdj betal-
 ningh paa then pandhe hwert l^d for iiij gyllene ii β minus
 Jtem γ pund brwm bethalningh paa sammæ pandhe
 Jtem i pund Trvndhemss iern forarbedit circa *omnium sanctorum*
 (c. 1 Novbr.)

Summa lateris

Jtem j skippund vj l^d ix marc koffwer
 Jtem ij pund Trondemssiern

[Side 155—162 blanke.]

Vdgift paa salt Anno domini Mdxvii^o

p. 163.

Jtem xviiij tynner Hardanger salt kom till Hetzby till gaards behoff
 att salte lax makrell oc kødt mett till gaards behoff
 Jtem γ tynne Norst saltt som hwalspek bleff saltidt mett till gaards
 behoff aff then hwall szom senisth kom
 Jtem i lb. salt soldt ffor penninge Ha(n)ss anammedt them oc ære
 jndscreffne

578

1520.

Jtem vj *tynner* smør *Tomus* lude fogit hid før(de) *circa natuitatis*

Marie (c. 8 Sept.) vti [landskyl' ledingh

Jtem xlvij løb ij pund smør ab eodem vti leding^a

Jtem ij løb smør *Staffan* på *Birkeland* vti landskyl

Summa lateris

Jtem vij *tynne* smør

Jtem ij^e xxvij løb ij pund smør

Jtem j^e iij løb talij

p. 53.

Indtecth på iernn kopper tenn oc messingh

Jtem lxj linspund kopper antwardet hiid *Age* her *Niels Henric-*
sens tienere vti var nadi^gste herris skat aff *Swndmore* *circa*
pentecostes (c. 27 Mai)

Jtem xxvij linspund antwardet hid idem *Age* restantia aff *Edølenn*
vti forscreffne skat

Jtem xxij linspund kopper antwardet hid *Eric* bisp *Andors* tie-
nere af *Nordfiord* vti same skat *circa festum sancti Haluardj*
(c. 15 Mai)

Jtem vij pund grydekopper idem

Jtem viij pund kopper antwardet hid *Henric* prostens tienere vti
skat aff *Woss*

Fra *Per* Islender

Jtem j kopper kande om j pund vj marc

Jtem ix pund ny kopper vti sagefall

Jtem xvj marc grydebrwm

Thette efftherscreffne kopper anamet *Iorien* aff sager-
stygem aff legatens gotz infra octauas corporis *Christi* (før
14 Juni)

Jtem vij linspund ny grydekopper

Summa lateris

Jtem j^e xlj pund iij marc koffwer

Jtem j pund vj marc kopper vti en kanne

p. 54. *Jtem* ij linspund kedell kopper

Jtem xij linspund kande kopper

Jtem iij linspund v marc grydebrwm

¹⁾ Fra [igjen udslettet.

1520.

579

[Jtem xij pund tyn oc are ful insciffne j mandtalet¹ thelle ær
 screffuit i mandtal *ergo non hic*
 Jtem j pund iij marc [kopper¹ brwin kom fran Ion pa Storem
 som bleff aff tornet for hand fortalet sigh
 Jtem x marc idem kopper sz^t *circa corporis Christi* (c. 7 Juni)
 Jtem vij marc tyn ny oc gammell kom hid fran then koma (!)
 som fortalet Olaff Tolgilssoms (!) hustrv
 Jtem iij^c xl pund bly for xvij marc

Thelle eftherscreffne iernn kom fran her Olaff Galla

Jtem v^c linspund [osmwndsierm¹ Herdalsiern
 Jtem vij taske lass for iij marc iij β
 Jtem xx marc kopper Olaff pa Holim vti then ij marckes skat
 som vdgic Haluard antwardet hid 4^{ta} *feria post Bartholomej*
apostoli (29 August)
 Jtem ij pund kopper Eric bisp Andors tienere hid antwardet vti
 skaat 6^{ta} *feria post Bartholomej apostoli* (31 August)

Summa lateris

Jtem xxj pund ij marc kopper
 [Jtem vij marc tyn¹
 Jtem jx^c xxvj pund Herdals iern
 [Jtem xij pund¹
 Jtem vij marc tyn
 Jtem vij taskelas
 Jtem iij^c xl pund bly

[Paa en indstukken Seddel mellem S. 54 og 55:]

Thelle eftherscreffne iernn antwardet Niels skerder her
 Niels Henriksen(s tienere) hid vti skat af Szelbo
 Jtem iijj^c xxvj pund [osmwndsierm¹ Herdals

Indteeth pa cledde læreff^t oc wadmall

p. 55.

Jtem vj^c store alne Islender wadmall som Iorienn kofte aff en
 Islender prest alnen iij β penninge are vdscriffne j Ioriens
 bogh

¹) Fra | igjen udsløttet.

646

1520.

*Summa lateris**Jtem x løber j pund smør**Jtem j løb talij**Jtem iij pund viii marc vax*p. 139. *Jtem j løb smør Arent snicker vti erbeds løen**Summa lateris**Jtem i løb smør*

p. 140. Vdgift pa kopper iernn teyn oc messing

*Jtem ii staffua iernn til somthener**Jtem iii pund jernn til somthener**Jtem xviii pund Trandhemiern til somthener**Jtem xv pund Trandhemiern til som(!) søm til skebet**Jtem i staffuaiernn til søm til skebet**Jtem ii staffuaiernn til røer til skebet**Jtem iii pund Trandhemiern til skebet**Jtem xii pund Trandhemiern som bysmedder vdirecthe til
sømthener**Jtem vi pund Trandhemiern til røer til skewet**[Jtem j tønne tiere til skebet¹**Jtem xii pund Trandhemiern til søm oc til røer til skewet**Summa lateris**Jtem lxiix pund Trandemiernn**Jtem v staffuaiernn**[Jtem j tønne tiere¹*p. 141. *Jtem iiii staffaiernn til røer**Jtem xx marc kopper Haluad Magnussen som bygde pa skepet
vti erbeds løen**Jtem xxiii pund Trandhemiernn till sømtheine**Jtem iiii staffaiernn til røer**Jtem xxxiii pund Trandhemiernn til somthener**Jtem i pund iernn en bonde fik for bordwet**Jtem xii staffuaiern som vti the vindøgen kom pa tornet*¹) Fra [igjen udslettet.

1520.

647

Jtem xxxiii pund Trandhemsiernn til somtheinor (!)
Jtem xii pund brwm som kom til then krwtkamers dor
Jtem ii bulther til skeppet
Jtem xviii pund Trandemsiernn til skebet

Summa lateris

Jtem xiiij pund viii marc kopper brwm
Jtem jc jx pund Trandemsiernn
Jtem xx staffuaiernn
Jtem ii bulter

Jtem iii pund Trandhemsiernn til somthenner
Jtem iii staffuaiernn til en sogen

p. 142.

Thette efftherscreffne kopper bleff inskeppet pa skepper
 Denis skep van Lybek oc are xxiiii linspund effther som
 thet ær her indtagiit vti huart skepund

Jtem xlix skepund kopper
Jtem xix linspund kopper

Thette eftherscreffne kopper bleff indskepet pa Hans
 Holsstes skeb som til Køpenhamff løb.

Jtem xx skepund kopper
Jtem γ linspund
Jtem i stalboge som Jørienn gaff Lodwig fogiit
Jtem i pund iernn til somthenner
Jtem vi pund iernn til søm oc hest skoo

Summa lateris

Jtem lxix skippund kopper
Jtem xxiiij linspund kopper
Jtem xiii pund Trandhemsiernn
Jtem iii staffaiernn
Jtem i stalbuge

Jtem ii pund iernn til sømthene
Jtem ii pund 2 marc kedell kopper the karlla finge pa thet
 Danske skep.
Jtem i pund x marc gryde kopper

p. 143.

1519—20.

545

*Jtem ij refskind i otterskind
ibidem*

*Jtem tiisse villeware skulle ecke
leggis i mandztals bogen ty
thet ær her inscriffu(i)t*

Summa lateris

*Jtem j mordskind
Jtem iij reffskind
Jtem ij ottherskind
Jtem j wlsskind*

[Side 184 blank].

: 185. Jndtecth pa kobber jern tyn
oc bly

*Jtem xvj pund kobber antuorde
megh Iacop Andersson foget
pa Hesby som Tommes foget
i Fiorden fordhe tiidh wti
sagefald*

*Jtem ix pund nyt kedell kober
ij pund brent kobber ab
eodem som sereffuit stander
wti Hesbyes inuentharie du-
bium om thet bleff pa jacthen*

*Jtem vij pund ny kedell koffwer
forde Thomas Jwde fogit i
Fiorden hiid tempore Calixti
(o: 14 Octbr.) vti sagerore*

*Jtem j pund gryde koffwer ab
eodem i sagerore*

*Jtem ij pund brwm ab eodem
i sagerore*

*Jtem lxxxij lifspund koffwer
antwordit hiid mester Hen-
rick aff Erkebispen gard pa
regenskaft af then skat af*

*Trundelagen sancti Luce e-
wangeliste dag (o: 18 Octbr.)*

*Jtem xvij marc koffwer som
kom vti sagefall vd aff byn*

*Jtem ij pund koffwer kom hem
vdaf Be(r)keron tingh i tre
smaa keldlæ (!)*

Summa lateris

*Jtem j^{xx} pund xvij marc
kopper*

Jtem j pund gryde kopper

*Jtem vj marc koffwer som Jo- p. 186.
rien fik af bonder sidhen han
kom hem for iij quarter oell
the skulle gefwa honum*

*Jtem ij pund ten som kom hiid
i arf effther Tidke mwre-
mesther*

*Jtem ij pund koffwer brwm
[Jtem xi pund ny kedell kopper
kom fraa Dirick fogiid j
Dalem (!) vigilia pasce (o: 7
April) vti var nadiige herris
skatt*

*Jtem j pund gryde kopper ab
eodem vti skat*

*Jtem vj pund brwm ab eodem
vti skat¹*

*thette for^{ne} kopper ær sereffuit
wti mandtall*

*Jtem j pund vj marc kopper
som kom fran Hans Karsson
fogiit j Swndhordeland vti
sagerore*

¹ Fra | understreget og skal vist-
nok udgaa.

632

1521.

p. 152. Jtem iiij *ß* *Barbara* ibidemJtem j *marc* iiij *ß* *Thore* Anderse dotter sz' oc er i hustru Swn-
niffue gardt

Summa lateris

Jtem j *marc*

[Side 153 og 154 blanke].

p. 155.

Paa *Kopper* oc iern oc thinn indtecttJtem ij^{mjc} aasmwnds iern som bleff Jørienn tiildømt aff *Swend*
scriffuers iect offuer strandt for hand kopslogh i Jøriens
leu vden hanss mynde *sabbato* ante *Cum iocunditate* (4 Mai)Jtem ij skippund ij linspund *kopper* som *Hans Fynbo* haffuer
send tiill garden i *thette* ar oc er taget i skat oc sagerøreJtem iiij *marc* *kopper* ab eodemJtem iiij skippund v linspund brvm ab eodem *prefecto*Jtem ij pund iiij *marc* brvm ab eodemJtem ij pund vj *marc* brvm thinn ab eodem

Summa lateris

Jtem vj skippund ix linspund viij *marc* *kopper*Jtem ij linspund vj *marc* thinnJtem ij^{mjc} aasmwnds iernp. 156. Jtem ij pund x *marc* koffwer som *Lasse* scriffuer foget hiemfforde
oc var taget i skattennJtem ij skippund koffuer kom frann *Torstenn* foget i *Seniødenn*
oc var taget i skattenn oc var brvm i met

Jtem ij linspund thinn ab eodem

Jtem j^m iiij^c koll. pund bly iiij lkoll. (!) pund *minus* er tha in
summa j^m iiij^c xlvj pund ad *meliozem computationem* som
Jørienn koffte aff *Henrick Blaa*Jtem j skippund *kopper* som her *Niels Henricksen* lodt hiidt
sende oc var taget i skatt aff *Fose* leu

1521.

633

Jtem viij *linspund* brum som Gunder smaaswend hiemfforde aff Ryffol-

Summa lateris

Jtem iiij *skippund* ix *linspund* x *marc* kopper

Jtem iiij *linspund* thinn

Jtem j^miiij^cxlviij *pund* koll. bly

ke oc var taget i skattenn

p. 157.

Jtem j^mj^c *pund* bly som Jorienn selff koeffte

Jtem ij *skippund* y *linspund* iiij *marc* koffuer som var taget i skat aff Haranger

Jtem ix *pund* brum aff samme leen

Jtem iiij *linspund* kopper kom frann Peder Islander i Sogenn foget *ibidem* oc var i skat

Jtem xj *marc* staall koefft for penninge som Jorienn selff koeffte

Jtem xj *linspund* kopper er kommenn frann the bønder som halshugne bleffue for the slog Halffwor foget ihiell

Summa lateris

Jtem iiij *skippund* iiij *lispund* iiij *marc* kopper

Jtem xj *marc* staall

Jtem j^mj^c *pund* bly

Jtem j *pund* thinn

p. 158.

Jtem j *pund* vj *marc* thin brum ab eisdem

Jtem j *pund* ij *marc* messing vtj eth becken

Paa klede oc lerefft Jndtectt anno *prescripto*

p. 159.

Jtem ij^c xij alne deuenter kom frann Hans Fynbo foget paa Iederenn oc var i skattenn

Jtem ij alenn deuenter ab eodem

Jtem ij *stycker* sarduck koefft for *penninge* oc er *penninge* vdscriffne

Jtem y^c store: alne Hielte vadnell som Thomas Karstenn aff Hieltlandt hiidt forde oc var landskuldt aff Karl Knudsens godz 3^a *feris* efter Kanvti Regis et matiris (d: 16 Juli)

Jtem vj alne Hielte vadnell ab eodem som Orm Ericksen tilkom som hengt bliff

536

1522.

Lasse rotzmandenn pa Hesby

Jtem vij alne lybest grofft

Jtem vj alne bleet lerefft

Summa lateris

Jtem ij alne islenske

Jtem xiiij alne hielte wadmell

Jtem vij alne lybest grofth

Jtem xvj alne westfare lerefth

Jtem jx alne bleeth lerefth

Jtem iij par sko

[Side 118—126 blanke.]

127. Vgiftenn paa kopper ock iernn anno eodem

Jtem j skippund ii lispund bly kom tiill busse lot tiill *gardens*
behoff

Jtem iij pund Trwndems iernn tiil forslager tiil bøsser

Jtem xvij pund bly kom tiill bøsse lodh

Jtem ij pund kopper Henning Kelszenn for enn baadt oc for
færding for nogenn fisk hand førde hiidt

Jtem ij pund Trwndenns (!) iernn tiil kroge paa vecter gangenn

Jtem ix pund bly kom tiill lod

Jtem viij pund bly kom tiil rendenn paa salenn

Jtem j skippund v linspund bly kom tiill render ock bøsse lod
tiill *gardens* behoff

Summa lateris

Jtem ij linspund kopper

Jtem iiij skippund ij linspund bly

Jtem v linspund Trondhems iernn

128. Jtem ij skippund Trwndenns iernn kom tiil at binde bøsser met

Jtem vj lispund ad idem opus

Jtem j skippund Trundenns iernu vdractt i sømtener tiill at
binde bøsser met tiill *gardens* behoff

Jtem iiij lispund ad idem opus

1522.

537

Jtem xx marc tynn kom tiill at lode glaes winduff met tiil gardens behoff
 Jtem ix pund Trundenns (!) iernn kom tiil søm ock tiil bøszer
 Jtem j pund Trundenns iernn kom tiil enn søger som kom tiil Hans Fønbo
 Jtem viij pund Trundenns iernn kom tiill bolter styrelycker ock hager tiil thet ny skib
 Jtem viij pund osmwnds iernn gaff ieg for j lest Norsk salt ock ther tiill peninge som wdgiffteñ ther paa wdtuiszer
 Jtem xij marc kopper som Gwnnar smaswend solde enn bonde oc er aff thet kopper hand annamede effther Iacob paa Hesby oc er

Summa lateris

Jtem xij marc kopper
 Jtem xx marc thynn
 Jtem iiij skippund ix linspund Trondhems iern
 Jtem viij pund asmwnds iernn

kopperit fult jndscreffuet vtj mynn indtectt met thet andet 129.
 kopper hann antworde meg
 Jtem vj lispund Trundenns iernn wdactt tiill søm ock andenn dell tiill gardens behoff
 Jtem xj lispund Trundenns iernn kom tiill mwracker oc sømtener tiill gardens behoff
 Jtem xij lispund Trundenns (!) vdractt tiill sømtener
 Jtem ij staffue iernn som mwracker bleff aff giorde
 Jtem vj lispund Trundenns iernn kom tiill bolter i skibet
 Jtem ix lispund Trundenns iernn vdractt tiill bolter
 Jtem ix pund Trundenns iernn kom tiill pødencker paa skibet
 Jtem j iernn bolt kom tiill samme skib
 Jtem xx marc tynn Jonn smaswend for penninge oc penningene jndscreffne

Summa lateris

Jtem iiij skippund iiij linspund Trondhems iernn
 Jtem xx marc thynn
 Jtem ij staffue iernn
 Jtem j iernn bolth

kobber i skatt eller bøter.

Eks. I 1520 kommer flere mindre kvanta i skatt fra Nordmøre, Sund-møre, Nordfjord og Voss. (NRJ I s.578, s.633 fra Hardanger og Sogn). Samme år hører vi om 84 1/2 lispund kobber som mester Henrik på erkebispens gård overførte på regnskap i skatt fra Trøndelag (NRJ II s.545). I 1521 sender Niels Henriksson på Austråt 1/2 skippund kobber som han hadde innkrevd i skatt i Fosen len. (NRJ II s.632)

Tjueri lønner seg ikke! En bonde i Gravdal må ut med 6 1/2 pund kobber for å ha tatt en hest. Langt værre gikk det de bønder i Dalene, på Jæren og i Ryfylke som gikk til kollektiv nekting av tiendepengeskatten. De fikk seg en smekk som de aldri glemte:

Jørgens underfuter sopte samtlige distrikter rene for sølv penger kobber, tinn, kjeler, gryter og handelstekstiler. Straffeskattereg. fyller over 200 sider. Mellom 50 og 60 skp. kobber skiftet eier, (foruten flere tusen mark i sølv og penger) (NRJ II s.485)

De fleste anførsler i regnskapsboken er rett og slett i kobber, men grytekobber og kjelekobber kan få egne rubrikker, og brom kommer også inn.

Hva brukte så **Jørgen** -kobberet til? Noe ble utsmidd, for det meste til Gårdens eget behov. Endel kvanta ble solgt til lokalbefolkningen for penger. Andre ganger kunne Jørgen bytte til seg kalk, salt eller andre varer han trengte. Flere ønsket-og fikk-kobber i arbeidslønn. I 1520 ble over 20 skp. eksportert til København, og nesten 50 skp. ble lastet ombord på et lübsk skip.

Det ligger mange ubesvarte spørsmål i dette materialet, særlig m.h.t. kobberets produksjonssted. Men det kan ikke herske tvil om at både råkobber og kobbergryter/kjeler var blitt nesten allemanns eie i første halvdel av 1500-årene.

KILDEUTGAVER OG LITTERATUR

DN = Diplomatarium Norvegicum, Chra./Oslo 1848--

NgL = Norges gamle Love, I-V Chra. 1846-95. Bind V inneholder ordliste (se **járn** etc).

LL = Magnus Lagabøters Landslov i NgL.

NRJ = Norske Regnskaber og Jordebøger fra det 16de Aarhundrede. Chra 1885-1906. (se særlig B.I-III)

NRR = Norske Rigs-Registranter I Chra. 1861.

Edda-Kvæde, På nynorsk ved Ivar Mortenson Egnund. = Norrøne bokverk nr.21. Det norske Samlaget.

Egils Saga. Norrøne bokverk nr.15.

Snorri Sturluson, EDDA utg. Finnur Jónsson, København 1900.

Olav Engelbriktssons Rekneskapsbok. Utgitt av Riksarkivet i Oslo ved J.A.Seip 1936.

Mål og Vekt. Norrøn Kultur (St.holm 1931-56) B.30 (A.Steinnes for Norge)

KL = Kulturhistorisk Leksikon for nordisk middelalder 1956-1978.

(artiklene **Bergsbruk, Folkevåpen, Jern, Koppar, Metallvarehandel, Metalliske varepenger, Smed, Våpen, Øks.**)

Lars Hamre, Erik Valkendorf. Oslo 1943.

STADNAMN OG JARNVINNE

Av Ola Stemshaug

- 1.0 Ein stor prosent av stadnamna våre fortel om arbeidslivet i det gamle bonde-og fiskarsamfunnet. Vi har alle høyrte frekvente og lett forståelige namn som Mjølkarplassen, Skavlia, Tjørehjellen eller Torvholet (Stemshaug 1965). Det er difor som det skal vera, når det dukkar opp eit Malmtektmyra (Falck-Muus 1931:57 "myra der ein tek jarnmalm". Saman med hundrevis av andre stadnamn fortel dette namnet om den gamle jarnvinna som har vore så viktig for mange bygder i landet vårt.
- 1.1 Sjølv om det altså er mange språklege vitnemål om dette arbeidet, så har vi inga samla framstilling om emnet frå norsk side. Årsaka til det er vel helst at det er tale om naturnamn i dei aller fleste tilfella, og dei er svært ufullstendig registrerte, ja ofte ikkje innsamla i det heile. Å skaffe seg oversyn over dette feltet blir difor både ein strevsam og langvarig prosess der innsamling av primærmateriale nok kan verke prohibitivt.

Frå svensk side er vi likevel så heldige å ha nokre mindre arbeid om stadnamn som fortel om den gamle jarnvinna. Det viktigaste og mest samanfattande er ein artikkel av Karin Calissendorff frå 1979 om "linguistic evidence for early iron production". - Når det gjeld jarn -og stålterminogien, ligg det føre nokre arbeid om dette både frå svensk og norsk hald.

- 1.2 Stadnamna bør kunne gje oss interessante opplysningar om jarnvinna, på same måten som for andre arbeidsområde. Det blir da viktig å vera klar over kva namn og namneledd som kan fortelje om denne jarnproduksjonen.

Såleis treng vi ikkje vera i tvil når det gjeld Malmtektmyra, men det blir straks meir problematisk når vi får Tektmyra eller berre Tekta, som vi har her og kvar i Sør-Noreg. Tekt (hokj). har jo den generelle tydinga "taking" (jfr inntekt, varetekt), og ordet kan godt vise til torvtaking. Det kompliserer forholda enda meir når vi veit at svenske dialektar kjenner tågt i tydinga "inngjerda setervoll, stad der krøtter er samla og beiter", jfr t.d. Kalvtågt hos Rietz (1867). Slik er det kanskje òg i grensebygda i Trysil, der namn som Tekta i alle fall somme stader viser til krøtterhald (Lillevold 1973:520).

Det er altså viktig at ein siktat materialet både grundig og godt, og vi skal sjå litt på dette i denne artikkelen særleg med omsyn til eit førsteledd Raud(e)-. Tilbake blir det likevel mange namn som heilt sikkert fortel om den gamle jarnvinna. Og monnaleg fleire namn er det rimelig grunn til å tru refererer til jarnvinna utan at vi kan føre direkte handfaste prov for det. Til saman blir dette likevel ei så stor namnegruppe at det bør kunne fortelje noko om både geografisk og topografisk utbreiing og i tillegg bør ein kunne vente kulturhistoriske, ikkje minst etnologiske opplysningar frå materialet.

Viktig er det at ein hugsar at namnematerialet berre kan fortelje oss om delar av heilskapen. Det ligg såleis føre døme på at somme område med sikre far etter jarnblåster fullstendig kan mangle namn som fortel om dette arbeidet (Hoslemo

1968:320). For dei noko mindre område, som grender og bygdelag, kan difor ikkje mangelen på stadnamn med klar tilknytning til jarnvinna utan vidare vera eit teikn på at også sjølve jarnvinna har mangla. For større område derimot er det rimeleg grunn til å rekne med ein viss grad av korrelasjon: Manglar stadnamna som vitnemål, har vel òg jarnvinna mangla eller ho er lagt ned på eit tidleg tidspunkt, truleg i førreformatorisk tid.

- 1.3.0 Gjennom stadnamna kan vi følgje heile jarnvinne-prosessen, frå konstatering av malmen i myra til det ferdige produktet i smia: Vi har namn som fortel om sjølve forekomsten, om opptakinga, kanskje òg om transporten meir tvilsamt om anrikinga, men rikeleg frå sjølve jarnblåsteren med produkt og avfallsprodukt, kanskje òg om reinsingsprosessar, og endelig om bearbeidingsstaden, smia.

Stadnamna er mest like gode som dei arkeologiske minnesmerka for lokalisering av jarnvinna (når namnet først er der), og på ein forholdsvis enkel måte bør namna, i alle fall innafor eit litt større område, kunne fortelje oss ein del om kvantitative tilhøve. Derimot står dei mykje tilbake når det gjeld å fastslå alderen på dette arbeidet ut frå namna på dei ulike stadene, og dei er i dei fleste tilfella heilt ubrukande når det gjeld å finne ut noko meir detaljert om sjølve forløpet av produksjonsprossesane. Desse moglegheitene og avgrensingane er det viktig at ein er klar over, ikkje minst kanskje dei som ikkje er namnegranskarer av fag.

- 1.3.1 I det gamle, ekstensive jordbruks- og fangstsamfunnet må jarnvinna ha spela ei stor økonomisk rolle i mange bygder. Myrsmalm vart difor ein naturressurs som det var viktig å ha kunnskap om, og første steget var å vita kvar ein kunne finne han. Mange stadnamn er vitnemål om det.

Frå og med dei midtre delane av Østerdalen og til og med Dalarna i Sverige har vi eit område der myrsmalmen har vore kalla ørkje (inkjekj), nyno vyrkje, eigenleg, "emne". Det kompliserer tolkinga av stadnamna noko at ordet òg kan bli bruka om trevyrke, tømmer. Men i kombinasjon med etterledd som kjøl, myr, floe o.likn, kan ein vel i dei fleste tilfella vera rimeleg sikker på at det er tale om myrsmalm i dette stroket. Nordom fjellet har eg aldri støytt på denne tydinga av ordet. Dei mange Vørkjesmyra(n) vi har i Sør-Trøndelag, refererer til ein heilt spesiell teknikk (med "vørkjøl") ved tjørebrenning (Dybdahl 1976, Farbregd 1976).

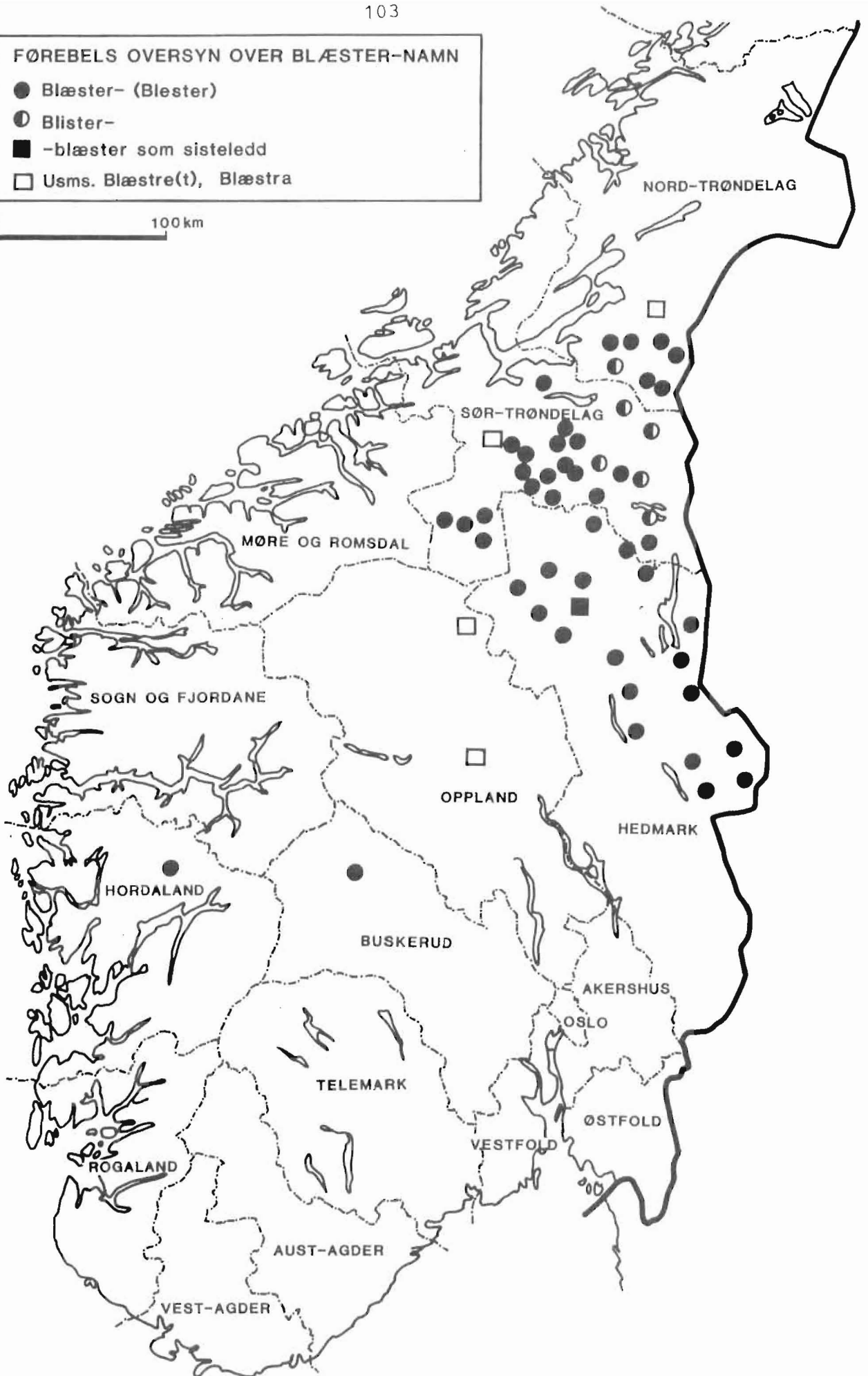
- 1.3.2 Først og fremst på Austlandet, særlig i Hedmark, har ein nokre namn på Rokko-, Rukku - el. Ruku -, stundom òg åleine som usamansett namn, gjerne elvenamn. Etymologisk har desse namna truleg eit torgreina opphav (Borg 1984), det eine er sikkert nok laga til ein variant av raud, adj. Orda har levd i Østerdalen med ei tyd. "Jernrust, Tegn til Jernets i Jord eller Vand" (Aasen 1873). Namna blir såleis ein viktig indikator på at folk har observert myrsmalm eller jarnhaldig vatn på staden, men det provar sjølvstundt ikkje at ein har drive jarnvinne der.

- 1.3.3 Det sama resonnementet gjeld òg for ordet malm (hankj) i dei tilfella det verkeleg refererer til jarnmalm i stadnamna. Her er det slik at ei tyding "grus (mo)" vel òg har eksistert i vårt land, t.d. i bygdenamnet Malm i Nord-Trøndelag. I svensk er dette enda ei vanlig tyding i somme dialektar (Rietz 1867), og vi kjenner ho frå mange svenske stadnamn, t.d. Malmö og Söder- og Norrmalm i Stockholm (Rietz 1867). Det

FØREBELS OVERSYN OVER BLÆSTER-NAMN

- Blæster- (Blæster)
- ⦿ Blister-
- -blæster som sisteledd
- Usms. Blæstre(t), Blæstra

0 100 km



er såleis all grunn til å tru at vi må rekne med denne tydinga i dei norske stadnamna òg.

Når vi har malm i kombinasjon med ord for "myr", bør vi vel derimot kunne tru at tydinga "jarnerts" ligg føre. Dette gjeld t.d. stadnamna Malmkjølen i Trysil og Malmsundet i Meråker.

- 1.3.4 I norrønt språk var den vanlege nemninga for myrmalm raudi (lint hankj.), og det blir bruka både i norske og islandske tekster. I somme norske dialekter har ordet levd med denne tydinga ned mot vår tid.

Rauði er som ein utan vidare forstår, i nær slekt med adjektivet raud, og det er altså den rustraude fargen på den gode myrmalmen ein har fest seg ved. Reint formelt er det umoleg å skilje rauði t.d. som førsteledd i namnet Raud - el Rødmyra frå adjektivet raud. Men fordi samansetninga av Raud - pluss eit ord for myr er mykje frekvent blant norske stadnamn, ville det vera av stor interesse om ein på ein eller annan måten kunne sannsynleggjera at førsteleddet her har den eine eller andre tydinga, slik at vi i mindre grad trong rekne med begge tydingane.

For eventuelt å kunne finne ut noko om dette, har eg gått igjennom alle namna på namnelistene for det økonomiske kartverket i eit breitt belte frå kyst til fjell midt i Trøndelag (sjå kartutsnittet). På desse namnelistene finst det monnaleg fleire namn enn det er utsett på karta. Her har eg så drege ut alle myrnamna, og dei med førsteledd Raud-/ Rød er sett av på kartet s 105. Kriteriet for å kalle det eit myrnamn har her vore at namnet har eit etterledd som kan tyde myr (t.d. floe, kjøl, myr, sund og at det verkeleg karakteriserer (denoterer) ei myr.

Når vi så fordeler funna våre kummunevis, får vi eit mykje interessant kartbilde: Dei ytste kystkommunane har ikkje typen Raudmyra i det heile. I indre delar av Fosen og i Orkdalen finst det nokre einstaka belegg. Men den store mengda av Raudmyra-namn finn vi først aust for Trondheimsfjorden. Her kan somme bygder ha opp til ein 9-10 slike namn, t.d. Levanger med 10 og Melhus med 9.

For å kunne "bruke eit slikt resultat, må ein gjera ei rad med kontrollar. Såleis kunne ein t.d. tenkje seg at skilnaden mellom aust og vest her var ein arealskilnad og dermed kanskje ein skilnad på talet av myrar og myrnamn. Slik er det ikkje. Sjølv om det er nokre fleire kvadratkilometer i aust, så er det minst like mange myrar i vest, naturleg nok p.g.a. dei klimatiske tilhøva.

Det viser seg dessutan at fargeadjektiv i myrnamn er temmeleg lågfrekvente. Vi har mange Grønning-ar og Grønskjer i Trøndelag, men berre eit handfull namn av typen Grøn- og Blakk-myra frå granskingsområdet vårt. Dei knapt 80 myrnamna på Raud-i granskingsområdet står difor i ei særstilling og må som gruppe ha ei spesiell forklaring.

Ofte viser fargeadjektiv i stadnamn til vegetasjonen på ein eller annan måten, så vi må òg sjå på vokstrane på myra. Det viser seg da at vi har to mosearter som begge kan gje ei viss raudfarging av myroverflata, kjøtt-torvmose (*sphagnum magellanicum*) og raudtorvmose (*sphagnum rubellum*). Desse moseartane er rett nok noko ujamt spreidde i Trøndelag, men det er rike forekomster av dei fleire stader i dei fosenbygdene som

Raudmyra

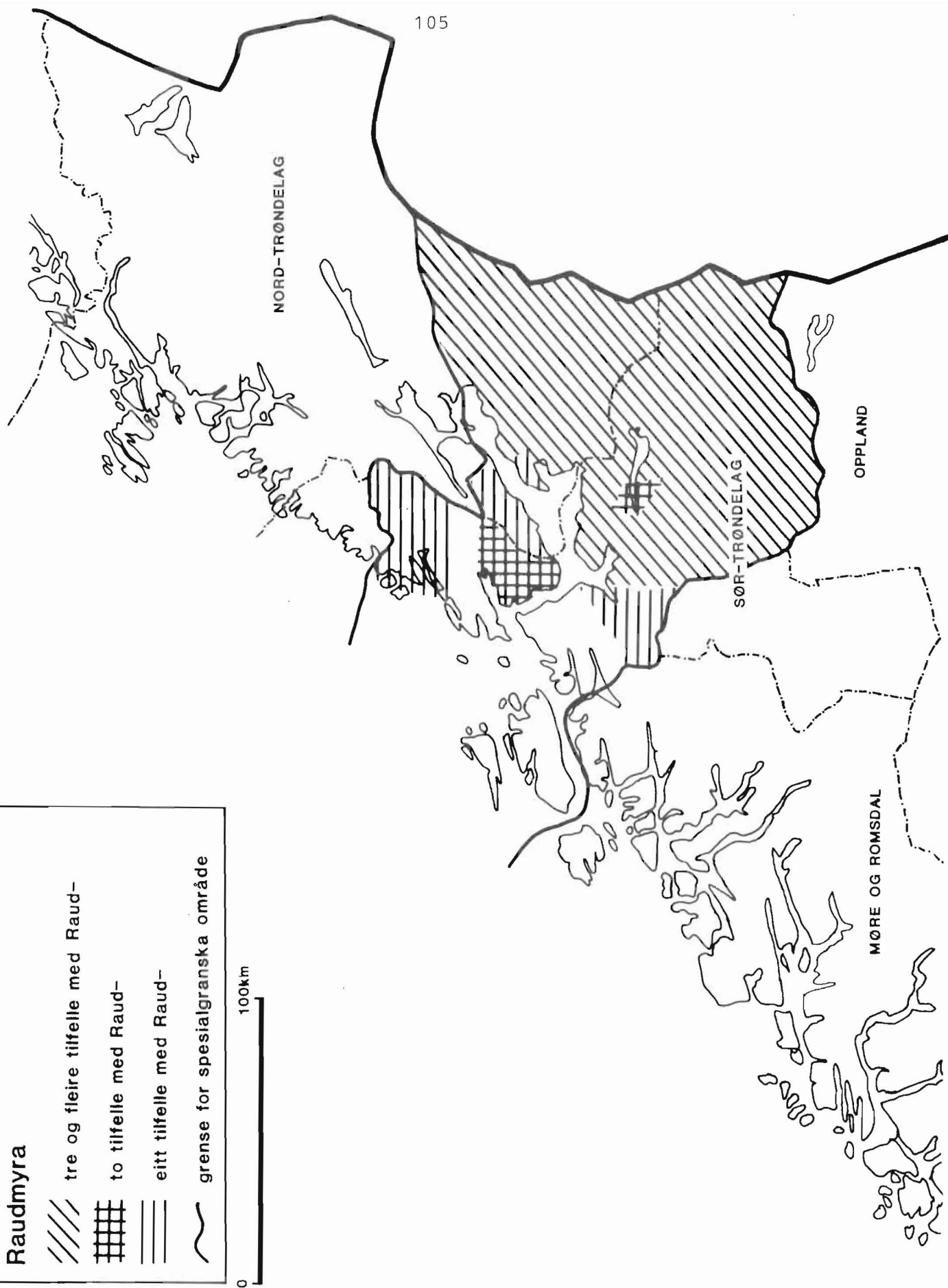
/// tre og fleire tilfelle med Raud-

to tilfelle med Raud-

==== eitt tilfelle med Raud-

— grense for spesialgranska område

0 100km



fell innafor granskingsområdet vårt. Det er difor lite rimeleg å tru at desse moseartane i særleg grad skal vera ein avgjerande namngjevingsfaktor austafør Trondheimsfjorden. Dessutan går ikkje desse mosane så høgt til fjells - ein 3-400 m ved Trondheim og nordover, men noko høgare lengst sør og aust i Sør-Trøndelag.

Vi bør difor konkludere med at namn som Raudmyra ovafor vekstgrensa til desse to moseartane helst viser til jarnokerhaldig vatn eller myrmalm. Nedafor denne grensa kan dessutan slike namn vise til myrmalm så langt ned ein har utfelling (oksydasjon) av jarnet, Fe^2 (Rueslåttén 1985:31ff). dvs. til noko nedafor den marine grensa. Akkurat for vårt granskingsområde er det da viktig å vera klar over at denne grensa går kraftig ned utover mot kysten, frå vel 200 m lengst aust i Trøndelag til ca. 100 m ute på Hitra (Undås: 1934:11f, 16, 19, Werenskiöld 1951:253).

- 1.3.5 For sjølve arbeidet med å ta opp malmen i myra kjenner eg berre nemninga tekt (hokj.), og ho kan som vist s. 101 ha fleire tydingar. Likevel er det heilt sikkert at vi har dette ordet med tydinga "myrmalmtaking" i fleire stadnamn frå den midtre og nordlege delen av Hedmark fylke, slik t.d. Malmtektbua i Øvre Rendal, mellom Rendalen og Glomdalen. Utafor Hedmark fylke har en enno ikkje støytt på namn der ein kan vera heilt sikker på at dette nemneleddet har denne tydinga.
- 1.3.6 Røstinga (anrikinga) av malmen ser ikkje ut til å ha sett merke etter seg i namnematerialet. Verbet røste er identisk med det litt meir alderdomlege roste, eit lån frå lågty, rosten. Etter dialektordbøkene å dømme ser ikkje roste ut til å ha vunne særleg innpass i dialektane, der ein nytta meir heimlege ord for denne reinsingsprosessen. Men når stadnamn ikkje ser ut til å vitne om denne arbeidsoperasjonen, kjem det vel av at han oftast var lagt heilt inntil staden der ein tok opp myrmalmen, det vil som Evenstad (1790:403) seier, redusere frakta. Men ein kunne vel òg ha røstinga ved sjølve blæsterplassen. Det gav føremønner for lagringa (kort transport). Slik ville røstinga bli overskygga av den meir arbeidskrevjande malmtakinga eller den teknisk meir innfløkte blæstringa.
- 1.3.7 Det er tydeleg at den sentrale operasjonen i den gamle jarnvinna har vore sjølve blæstringa, jarnblåsteren, jfr. norr. blástrijarn "råjarn av myrmalm". Staden der ein dreiv denne blåsteren må i norrønt språk ha heitt *blæstri (inkjekj), men ordet er ikkje belagt i gammalnorske tekster. Frå moderne norske og svenske dialektar kjenner vi òg ordet i hokjønnsform. Calissendorff (1979:161) fortel såleis at "blästan are common in western central Sweden", og Donali (1988:118 og 249) nemner både blæstre f. og jernblæstre f. med tydinga "tilverkingsstad for jarn".

Blæstret hadde altså ein sentral plass i den gamle jarnvinna. Her kunne ein kanskje somme tider røste malmen, her lagra ein malm og stundom trekoll, og her dreiv ein den teknisk sett nokså avanserte jarnblåsteren. På ymse vis arbeidde ein og sikkert med det ferdigsmelta produktet, lumpen, medan han enno var varm. Rett attmed vart òg avfallet, slagget kasta. Det er utan vidare klart at eit jarnblæstre merkest for folk, ikkje berre dei som tok del i sjølve produksjonen, men òg for dei mange som måtte sjå ljøsken frå smelteomnane i skume haustkveldar eller støytte på blæstergroper og slagghaugar ute i marka.

På denne bakgrunnen er det berre rimeleg at vi har ei rad med stadnamn som er laga

til ordet blæstre. Men det kompliserer tolkinga av stadnamn at ordet òg kan ha den generelle tydinga "blåster, det å blåse" i nokre moderne norske dialektar. - I nokre bygder frå Stjørdalen til Røros ser det ut til at somme stadnamn med eit forsteledd Blister- kan vise tilbake til gamle blæsterplassar. Den vanlege tydinga av verbet blistre er her som i norrønt og norske dialektar eller "plystre". Men dessutan er tydinga "kvine, pipe (om vind)" velkjent frå trønderdialektane. Dette krev da som ein vil forstå, at kvart einskild namn får ei individuell saumfaring.

Med desse reservasjonane in mente er det likevel interessant å sjå på eit førebels utbreiingskartet eg har laga for Blæster-/ Blister-/blæstret- namna: Dei har ein tydelig konsentrasjon til det søraustlege Trøndelag og Nordaustlandet, særleg Stjørdalsdalføret, den søraustlege delen av Sør-Trøndelag og Østerdalen. Ikkje uventa finn vi òg namnetypen representert i jarnvinnebygda Voss på Vestlandet. Det norske sentralområdet står i klart geografisk samband med eit tilsvarande -blæsta(n)- område på svensk side av grensa.

Eit separat problem, viktig nok, men for omfattande til å kunne drøfte det i detalj her, er alderen på desse namna. Blæstergropene ville vera synlege lenge etter at jarnvinna var over, så det er teoretisk mogleg at stadnamna kan vera komne opp i ei meir eller mindre sein ettertid.

- 1.3.8 Når ein smelta myrmalm var det berre ein liten del av han som vart til reint jarn. Mesteparten vart avfall, slag, eller med eit anna ord sinder (inkjekj), norrønt sindr som både hadde tydinga "gneistar av gloande jarn" og "klumpar etter jarnsmelting". jfr person- og dvergnamnet Sindre (dvergane var tradisjonelt ekspertar i smikunst). Her er det slik at sinder er det gamle, heimlege ordet, slag det nye, truleg innlånt frå lågtysk Slagge (Torp 1919), kanskje over svensk. Slag er ikkje belagt i gammalnorske tekster og er vel ikkje komme inn i norsk før tidlegast i seinmellomalderen.

Både Sinder-/Sindre- og Slag- finst i fleire stadnamn. For di Sindre ein sjelden gong kan vera personnamn, er det ofte vanskeleg å slå fast når namn av den første typen verkeleg er vitnemål om jarnvinne. Men stundom kan ein som ved Sindrebakken i Finsland, Vest-Agder, få opplysning om at det er "mykje slag frå jarnbrenning her" (IN). I dei fleste tilfelle ser det ut til at vi kan rekne med at Sinder-/Sindre- namna verkeleg fortel om jarnblæstringa.

Sinder-/Sindre-namna ser ut til å ha ei vestleg og sørleg utbreiing, frå vest- og nordvestlege delar av Austlandet og indre delar av Vestlandet til Sørlandet. Slag-namna synest å vera meir spreidde og grev inntrykk av å vera yngre enn Sinder-/Sindre-namna.

Somme av dei høyrer vel til den nyare jarnverksperioden, som t.d. Slagghaugane i Askiltgrenda i Bø, Telemark, der Anton Røstad opplyser at her er det "slagghaugar frå Hørteverket langs Hørteelva på sørsida av elva nordvest for Jørenshaug" (IN).

Nordafjells kjenner ein til at ordet kråke (hokj) har vore nytta om slagget, avfallet i smia, og det er mogleg at det kan ha vore nytta om slagget frå smelteomnen òg. Vi kjenner det venteleg fra stadnamn i Nord-Trøndelag. Interessant er det at same nemninga dukkar opp på Voss, t.d. i stadnamnet Kråkehaugen (Gustafson) 1983:111).

- 1.3.9 Vi har ei rad med stadnamn på Jarn-, Jern-, Jenn-, Jørn- og Smi-. Mange av dei kan vitne om den gamle jarnvinna, medan somme klart har eit anna opphav. Her må vi da gje namna ei individuell handsaming og ta for oss både dei språklege og reale hjelpemidla som står til disposisjon. Såleis skulle det t.d. vera svært store sjansar for at det verkeleg er tale om jarnvinne når etterleddet er eit appellativ for "myr". Det gjeld t.d. Jønnemyr i Sigdal, Buskerud. Her gjev dessutan heimelsmannen opplysning om at "der er drevet med jernblåster tidligere" (IN), og vi får vel tru han på ordet. Men vi bør ofte ha ein liten, sunn skepsis til slike opplysningar: Folk flest har ei inngrodd evne til å dedusere namnetolkingar på fritt grunnlag ut frå meir generelle tilhøve. Vi skulle gjerne ha hatt opplysningar om det har funnet blæstergroper eller slagghaugar i områder òg!

Eit mykje interessant tilfelle i denne namneflokk er Jargruva i Rana (Endresen 1976:77). Her skal ein ha funne slaggrestar, og staden ligg til overmål på Brennåsen, så her må vi vel ha jarn i førsteleddet (heller en jar jaðrr "kant"), jfr ord som jarstaur "spett". Dette namnet blir særleg interessant for di det synest å kunne vera vitnemål om den aller nørdeste jarnvinna vi har hatt i vårt land.

- 1.4 Opplysningane frå stadnamna slik dei til no ligg føre, fortel oss at vi har hatt eit sentralskandinavisk kjerneområde for den etterreformatoriske jarnvinna. Namna som vitnar om dette arbeidet på norsk side, er særleg tettsådde frå og med Stjørdalsdalføret lengst sør i Nord-Trøndelag, over indre delar av Sør-Trøndelag og til og med Østerdalen. Lenger vest minkar det med slike namn, og dei som er , er meir ulikt fordelte. Men denne ujamne fordelinga i vestlege og nordvestlege delar av Austlandet t.d. kan botne i ulike namneinnsamlingssituasjonar. Såleis har vi relativt mange stadnamn som vitnar om jarnvinna i Valdres - men derifra har vi og mykje og godt innsamla namnemateriale!

Ein sparsam jarnvinnetradisjon kan ein òg spore i stadnamn nedover på Agder. I dei indre bygdene på den sentrale delen av Vestlandet har vi mange namnedøme frå Vossebygdene. Her er det ellers mykje som talar for at vi har to lag med stadnamn som vitnar om jarnvinna - såleis finn vi både typane Kråkehaugen og Sindurhaugen (Heggstad 1949:161).

Nordgrensa for den etterreformatoriske jarnvinna skulle etter namna å dømme gå i Nord-Trøndelag ein stad. Opplysningane om gammal jarnvinne i Rana blir difor problematiske og bør vel førebels setjast av som eit einaste stort spørsmålsteikn på utbreiingsskartet. I alle fall har vi ingen andre opplysningar, frå namn eller arkeologiske funn, som vitnar om slik aktivitet i Nordland. På den andre sida ville det i og for seg ikkje vera urimeleg å finne jarnproduksjon akkurat i Rana, for her har ein gjennom hundreåra trunge store mengder jarn til båtsaum i nordlandsbåtane (ranværingane).

Denne artikkelen er eit samandrag av ei større upublisert utgreiing om namn med tilknytning til jarnvinna. Vi har difor vore litt sparsame her med både materialframlegging og kjeldetilvisingar.

LITTERATUR

Borg, Arve

1984. *Roko*. I: Talatrosten 1984. Norsk Målførearkiv. Oslo

Calissendorff, Karin

1979. *Linguistic Evidence for Early Iron Production*. I. Helen Clarke (red).
Iron and Man in Prehistoric Sweden. Stockholm.

Donali, Ingeborg

1988. *Oppdaling. Ord og uttrykk*. Oppdalsboka. Bd. III. Trondheim.

Dybdahl, Audun

1976. *Tjærebrenning i eldre tid. Hva kan skriftlige kjelder og tradisjonsmateriale fortelle om brenning og bruk av tjære i Trøndelag?* I: Heimen 1976. Bd. XVII. Oslo

Endresen, Bjørn

1976. *Den gang det var jernverk i Brennåsen* I: Årbok for Rana. Bd. IX. Mo.

Evenstad, Ole

1790. *Afhandling om Jern-Malm, som findes i Myrer og Moradser i Norge, og Omgangsmaaden med at forvandle den til Jern og Staal*. I: Det Kongelige Danske Landhuusholdnings Selskabs Skrifter. Tredie Deel. Kiøbenhavn.

Falck-Muus, Rolf

1931. *Grensetraktenes jernsaga*. I: Den norske turistforenings årbok. Oslo

Farbregd, Oddmunn

1976. *Tjøremiler i myr, ei ny arkeologisk funngruppe*. I. Heimen 1976. BD XVII.

Gustafson, Lil

1983. *Arkeologiske registreringer i Vossovassdraget*. Arkeologiske rapporter 6. Historisk museum, Universitetet i Bergen. Bergen.

Hegstad, Leiv

1949. *Stadnamn på Voss*. Voss.

Hoslemo, Olav

1968. *Stadnamn frå Bykle*. Upr. Hovudopp. Oslo

IN = Institutt for namnegransking, Universitet i Oslo.

Rietz, Johan Ernst

1867. *Svenskt dialektlexikon. Ordbok öfver svenska allmogespråket*. Lund 1862-1867. Ny utg. Lund 1962.

Rueslåtten, Håkon

1985. *Dannelse av myrmalm*. I Ivar Berre (red). *Frå malm i myra til stål i smia*. Namsos.

Stemshaug, Ola

1965. *Stadnamn frå Stemshaug*. Upr. hovedoppg. Oslo.

Torp, Alf

1919. *Nynorsk etymologisk ordbok*. Kristiania.

Undnå, Isak

1934. *Fra istiden i Trøndelag*. Det kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter 1934. NR. 7. Trondheim.

Werenskiold, Werner

1951. *Fysisk geografi*. II. Oslo.

Aasen, Ivar 1873 *Norsk Ordbok*. Christiania.

PRAKTISKE UNDERSØKELSER

planlagt og rapportert av Arne Espelund.

De praktiske undersøkelsene under kurset omfattet:

1. Undersøkelse av myrmalm:
 - a. Faseundersøkelse med røntgendiffraksjon.
 - b. Måling av tetthet.
 - c. Måling av spesifikk overflate.
2. Oppredningsforsøk på myrmalm.
3. Framstilling av jern i modifisert Evenstadvn.
4. Smiing.
5. Materialprøvning.
6. Metallografi, inkl. bruk av sveipenmikroskop SEM.

1. Undersøkelse av myrmalm.

Myrmalmen ble hentet høsten 1986 ovenfor gården Ingstadnes i Hegra. En stor myr dreneres i en bekk, og malmen felles ut ved nokså sterkt fall over ca. 100 meters lengde. Malmen er gjørmeaktig og lys brun. Funnstedet er utnyttet tidligere for myrmalm til rensing av gass ved gassverket i Trondheim.

Malmen ble båret i bøtter ned til vei av skoleelever fra Skogn ungdomskole og kjørt fram med traktor.

Malmen ble lufttørket og siktet med 6 mm. lysåpning. Røsting ble foretatt i en ovn med elektrisk motstandselement, først ved ca. 400°C, så ble malmen tatt ut og helt over i en stålbeholder, før røsting ble foretatt annen gang ved 800°C. Hensikten med slik dobbel behandling var å sikre oksyderende forhold idet malmen i rå tilstand inneholder mye organisk materiale.

1a. Faseundersøkelse med røntgendiffraksjon.

Prøvene ble undersøkt med et automatisk XRD-anlegg, utstyrt med kobber røntgenrør og med diffraktometer for opptak mellom 5 og 60°, tilsvarende området 1.54 - 17 Å i d-verdier (gitterplanavstander). Resultatene i form av diffraktogrammer er vist i fig. 1 - 3.

Den urøstede prøven viser svakt markerte topper mot en sterk bakgrunnsvertning, noe som tyder på nær amorf tilstand hos stoffet. Ved sammenlikning viser det seg at de fleste toppene hører med til gitteret for gøthitt.

Den røstede prøven er langt sterkere mineralisert og viser topper for hematitt (såvel alfa- som gamma- (også kalt maghemitt)), ved

siden av spor av kvarts.

Resultatet er helt i samsvar med at myrmalm er et utfellingsprodukt med gøthitt som viktigste mineral. Gøthitt kan inneholde også mangan i det samme gitteret. SiO_2 i samme prøven foreligger som separate krystaller, i alle fall i hovedsak som kvarts.

Det ble også foretatt en sammenlikning med diffraktogrammene for fayalitt, wustitt og jern, uten at noen av linjene til de siste stoffene kunne finnes på opptaket av den røstede malmen. (Se også nedenfor).

Denne undersøkelsen ble utført ved Geologisk institutt av teknikeren Ivar Rømme og laborant Unn Ese.

1b. Måling av tetthet.

Tettheten av røstet myrmalm ble målt med et Bechman luftpyknometer. Metoden er basert på at en beholder blir fylt opp med stoffet. Differensen mellom gassvolumet som den fylte beholderen tar opp, og det en helt tilsvarende tom beholder tar opp blir målt.

Resultatet gikk ut på 5.83 g/cm^3 .

Til sammenlikning er tettheten for alfa-hematitt $4.9 - 5.3$, og for kvarts $2.59 - 2.66$. En får mistanke om at noe i prøven kan ha blitt redusert til metallisk jern eller wustitt FeO , og det ble derfor også foretatt sammenlikning med tre andre mulige stoffer (se fig. 3), men med negativt resultat.

I sammenheng med denne målingen ble innholdet av jern i den røstede prøven bestemt til 53.93% .

Det er inntil videre uklart hvorfor prøven har så stor tetthet.

1c. Måling av spesifikk overflate.

Målingen ble utført med et instrument av type Blaine. Prinsippet går ut på å måle tiden, som en viss luftmengde trenger for å strømme gjennom en bestemt prøve av stoffet. En må dermed vente at mikroporer ikke blir registrert, slik at meget finkornede og porøse stoffer kan ha enda større overflate enn det som blir resultatet.

Målingen ga $65\,077 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ eller $11\,163 \text{ cm}^2/\text{g}$, altså vel $1 \text{ m}^2/\text{g}$.

(Til sammenlikning vil en rik slig fra Sydvaranger gi $1\,860 \text{ cm}^2/\text{g}$, d.v.s. ca. 16% av myrmalmens verdi).

Alternativt kan spesifikk overflate måles ved adsorpsjon av nitrogen, med en metode kalt BET. Prøven blir avkjølt i flytende nitrogen. Etterpå blir den adsorberte mengden desorbert og målt.

Metoden er langt mer omstendelig enn Blaine-metoden, men den er meget mer nøyaktig.

Undersøkelsen ble utført av ingeniør Trygve Skansbo ved Oppredningslaboratoriet.

2. Oppredningsforsøk på tørket myrmalm.

I foredraget om kjemiske forhold ved jernblestring ble det påpekt at innholdet av "sand", som normalt kan bestå av spesielt SiO_2 som kvarts, nedsetter utbyttet av jern. Det henger sammen med at SiO_2 vil binde FeO i form av fayalitt. FeO bundet på den måten lar seg ikke redusere.

Det fins en rekke metoder for å skille ulike mineraler fra hverandre når de enkelte partiklene foreligger som separate korn etter knusing. Men både magnetseparasjon og flotasjon er utviklet i dette hundreåret. Av eldre metoder kan en tenke seg tørrsikting og ulike former for behandling med vann.

Det viktigste trekk som en skilleprosess kan basere seg på innskrenker seg dermed til tetthet og kornstørrelse.

Et innledende forsøk på vaskebord med mekanisk bevegelse ga ikke noen tydelig separasjon.

Ved settling i en serie med tanker ble det skilt ut produkter med synkende innhold av kvarts: 14.2% i nr. 1, 6.3% i nr. 2, 4.0% i nr. 3 og 3.1% i nr. 4. En har dermed fjernet en god del av kvartsinnholdet. Men det fulgte en god del jern med, henholdsvis 32, 36, 32 og 37%. Dette er nok hva en kan kalle "mellomkorn", altså korn med sand og gøthitt i blanding. At ulike former for mineraler følger hverandre kan henge sammen med at malmen var tørket på forhånd. En vanlig fuktig malm ville kanskje gitt et bedre skille.

En kan konkludere med at det er visse muligheter for å skille ut sandpartikler i en serie med kar, der vannet renner som en "kaskade". En må i så fall sørge for å samle opp den rensede malmen fra det vannet som renner ut.

Arbeidet med oppredning av myrmalm ble ledet av amanuensis Bjørn Arne Dybdahl ved Oppredningslaboratoriet.

3. Smelting i modifisert Evenstadovn.

Det er vanskelig å foreta målinger ved vanlig smelting i en Evenstadovn. Det henger ikke i første rekke sammen med at arbeidet foregår i friluft, men med at luftstrømmen ikke kan kontrolleres og måles. Spissene på de to blåsebelgene er jo plassert inne i en åpen trakt.

Ved Metallurgisk institutt er det laget en modifisert Evenstadovn med henblikk på måling av temperatur og luftstrøm. Ovnens som er vist i fig. 4, består av en stålmantel, som er utført med ildfast stein. I stedet for en åpen blestform er det laget en trakt, som kan tettes for enden og som har en rørstuss på siden for tilførsel av trykkluft. Denne trakta kan brukes på to måter:

med fri strømming av luft gjennom åpningen, eller, når denne åpningen er tettet: med trykkluft gjennom sidegrenen. Bruk av trykkluft skal simulere den perioden da blåsebelgene blir tråkket.

Den første formen for lufttilførsel måles med anemometer (som er en nesten friksjonsfri "propell", den andre med såkalt rotameter plassert i tilførselsledningen. Et rotameter er et svakt konisk rør med et flytelegeme og en skala. I dette tilfellet passet anemometeret nøyaktig inn i den ytre delen av blestformen.

Ovnen ble varmet opp ved fyring med ved utendørs i ca. 3/4 døgn. Den ble så flyttet inn i Smeltehallen på Metallurgisk institutt. Ca. kl. 10 ble den fylt opp med furuved, hogd til ca. 2" pinner som fikk brenne fritt mens luften strømmet gjennom den åpne trakten på siden.

kl. 10.55 var all veden brent til trekol, som nådde opp til et nivå svarende til 1 steinhøyde under toppen.

4.75 kg røstet malm satt til.

Gassmåling med anemometer:	kl. 11.10	0.24 m/s ved 1 min måling
	11.20	0.24
	11.35	0.18

På dette tidspunktet hadde trekolmengden sunket til 1 1/2 steinhøyde under kransen.

kl. 11.45 raket sammen trekolet foran bleståpningen. Tettet trakten. Satt på trykkluft: 20-22 cm på rotameteret.

kl. 12.00 trekolet "skar seg".

kl. 12.45 raket sammen trekolet på nytt. Økt til 35 cm på rotameteret.

kl. 13.15 minsket lufttilførselen til 15 cm på rotameteret.

kl. 13.30 stengt av lufta, tatt ut produktet.

Andre målinger:

Det ble satt inn termoelementer fra siden, men ved en misforståelse i feil posisjon. Det eneste som kan sies er at det ble en markert økning i registrert temperatur ved overgang til trykkluft.

Resultat:

Ca. 570 g metall, 515 g slagg.

Metallet ble mikroskopert. Den ene prøven som ble studert var rent ferrittisk, m.a.o. med et C-innhold under ca. 0.05%.

Slaggen var ganske inhomogen og det ble ikke foretatt noen slagganalyse.

Kommentarer:

En normal tilsats røstet malm skal veie ca. 18 kg. Når en langt mindre mengde malm ble brukt, er det fordi både tverrmålet og høyden på trekolskiktet var mindre enn i originalovnen.

Det blir ikke gjort noe forsøk på å analysere dette forsøket videre. Det anses som meget verdifullt at en i alle fall kan simulere betingelser med fri trekk/trykkluft, som kan svare til fri trekk/belgtråkking i den prosessen Evenstad beskriver.

Arbeidet ved ovnen ble ledet av lærer Ivar Berre fra Skogn ungdomskole.

4. Smiing.

Alle deltakerne utførte smiing. Det ble særlig prøvet å lage spiker av et lavkarbonstål og meisler av et stål med ca. 0.7% C. Meislene ble herdet og anløpt etter at de var ferdig formet. Det ble også gjort forsøk på essesveising. Noen av produktene ble undersøkt etterpå ved metallografi.

Arbeidet ble ledet av smed Arnfinn Vikhammermo.

5. Materialprøvning.

Deltakerne fikk demonstrert et strekkforsøk og slagprøvning ved SINTEF avd. 16 Materialer og bearbeiding.

Ved strekkforsøket ble en prøvestav av kvalitet St 37 med diameter 10 mm og med 50 mm måleområde spent inn i en "Instron" strekkmaskin. Staven ble forlenget 100 mm/min (høyere hastighet enn ved et normal-forsøk). Resultatet er gjengitt i figur 5 med akser, som svarer til fig. 3 i avsnittet "Hva er jern og stål?".

Den rettlinjede delen består i en elastisk forlengelse. Staven får igjen sin gamle lengde om lasten fjernes.

Den markerte toppen, fulgt av et uregelmessig platå kalles flytegrense. Ved denne verdien foregår deformasjon ved at atomplan glir på hverandre. Dette foregår helt til alle slike muligheter ved den aktuelle formen for belastning er brukt opp. Så økes belastningen mens staven fortsetter å øke i lengde. Men denne effekten "bremser" opp fordi staven nå får en innsnevring: den økte belastningen fordeler seg over et mindre tverrsnitt.

De aktuelle verdiene på diagrammet er: øvre flytegrense 2750, nedre flytegrense 2440 og strekkfasthet (maksimum) 3290 kg/mm^2 .

Ved slagprøvningen ble Charpys metode brukt. En firkantet prøvestav med dimensjoner 10 x 10 mm (tverrsnitt) og med en "kjerv" på 2 mm dybde ble spent opp i maskinen. Prøven ble slått av med et stort lodd, og høyden målt da loddet stoppet opp. Differensen gir et uttrykk for slagarbeidet. For en prøve ved romtemperatur

ble slagarbeidet målt til ca. 300 J. Dette svarer til verdien for et mykt stål. Det samme stålet, testet ved -40°C , krevde bare 20 J for å bli slått av. Dette svarer til et sprødt brudd.

- Det er særlig omslagstemperaturen mellom seigt og sprødt brudd som er interessant. Fosfor og nitrogen i stål fører til høy omslagstemperatur. Det vil si at f.eks. en ståløks går i stykker alt ved bruk i moderat kulde.

Ved dette arbeidet fikk vi hjelp av tekniker Kjell Arnljot Brevik.

6. Metallografi og SEM.

Deltakerne fikk demonstrert alle trinnene på veien fra prøvestykke til ferdig polert og etset slip. Resultatet ble kontrollert i mikroskop.

Som referanser ble det demonstrert tre prøver:

1. stålet, som ble brukt til å lage spiker av.
2. borstål, som ble smidd til meisler.
3. grått støpejern (vindussprosser fra Mellageret i Trondheim).

En prøve av det jernet som ble laget i Evenstadvn 13.1. ble også studert. Det var et rent ferritisk materiale (under 0.05% C).

I tillegg ble utvalgte arkeologiske prøver studert, utvalgt i samarbeid med Oddmunn Farbrege og Roar Sæterhaug.

1. Nagle fra Geite, Frol, Levanger. 24/2
A18 F11 T 19183 q

Folkevandringstid.

Naglen ble kuttet på tvers. To biter ble støpt inn, slipt og polert, slik at en kunne se på naglen på tvers og på langs.
Etsing: Nital.

Nesten ren ferritt, d.v.s. jern med 0 - 0.1% C. Slagginneslutninger.

2. Nagle fra samme sted, merket T - 21 080, haug 2.

Vikingtid.

Samme behandling som nr. 1.

"Kjerne" med ferritt + cementitt, med 0.2 - 0.25% C.
Storparten, deriblant overflaten nesten ren ferritt.
Den karbonholdige delen ikke helt i midten, men litt usymmetrisk.

3. Enegget sverd fra Lægran, Stod.

T - 1694. Ca. 800 AD.

Ganske homogent. Perlitt med korngrensecementitt. Ca. 1% C.

4. Tveegget sverd fra Stavne.

T . 66. 800-tall.

Ferritt med spor av cementitt i midtre del. Analyse ca. 0.1%C.

Nesten ren perlitt mot spissen. Analyse ca. 1% C.

Markert "søm" langsetter midten, trolig etter essesveising.

Prøven er også studert i sveipe-elektronmikroskop. Ingen tydelige spor etter fosfor. Bare slagggpartiklene inneholder noe annet enn Fe (SiO_2 , spor av Mn).

Konklusjon:

De fire prøvene har stor utsagnsverdi. Et stort spørsmål er selvsagt om de er representative.

Det er en økning i karboninnholdet i nagler fra folkevandringstid og til vikingtid.

Sverdene er ganske ulike. Det ene er homogent, perlitisk og kan enten brukes slik det er, eller herdes og anløpes meget omhyggelig, ellers kan det bli for sprødt.

Sverdet fra Stavne er satt sammen av minst to stålkvaliteter. Midten er ferritisk og vil beholde sin seighet, selv om den ytre delen blir herdet.

Ved den konvensjonelle metallografien deltok universitetstekniker Tore Jørgensen, mens sveipe-elektronmikroskopet ble demonstrert av ingeniør Per Olav Johnsen.

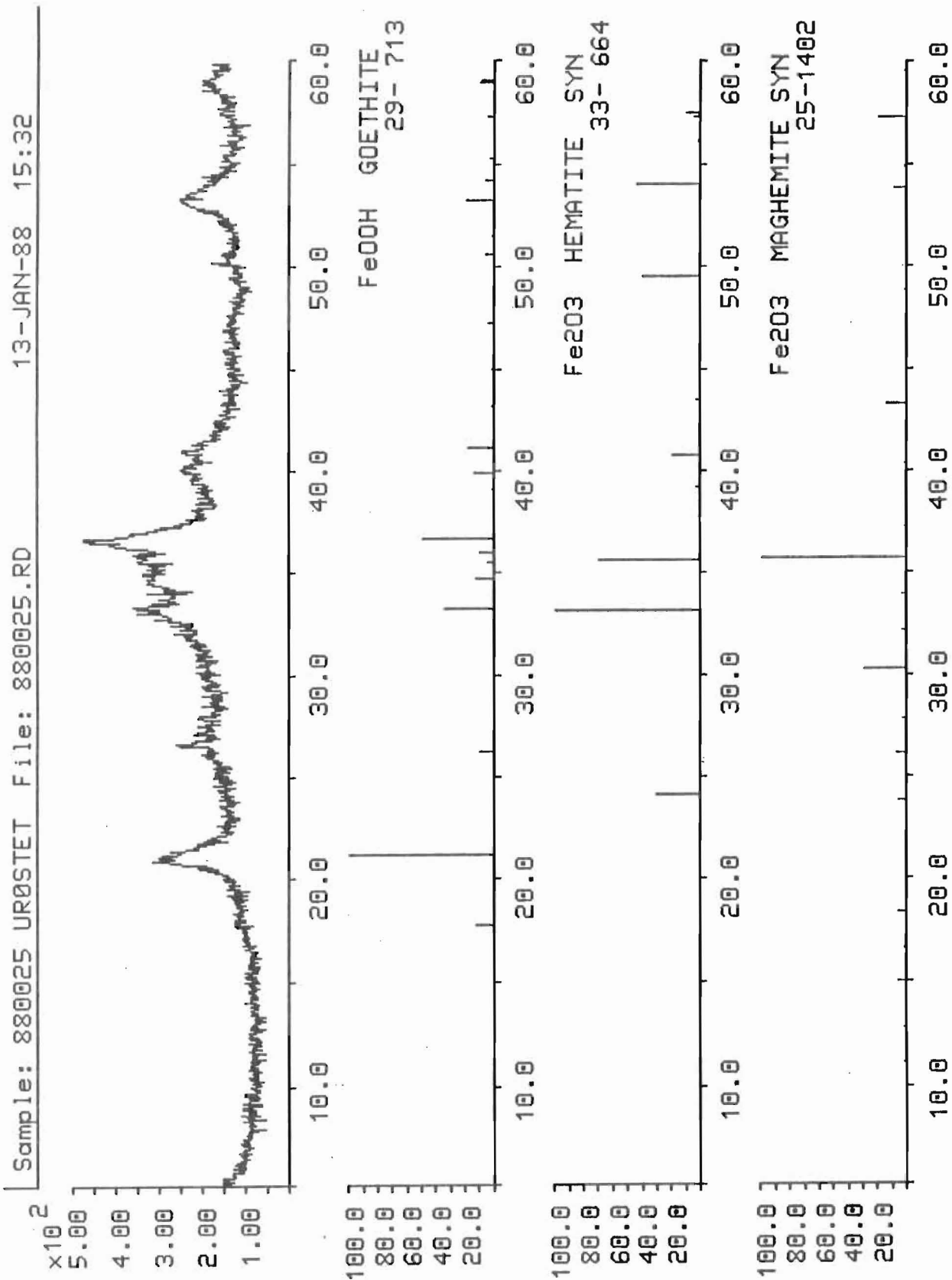


Fig. 1. XRD-diagram for urøstet myrmalm, sammenliknet med gøthitt, hematitt og maghemitt.

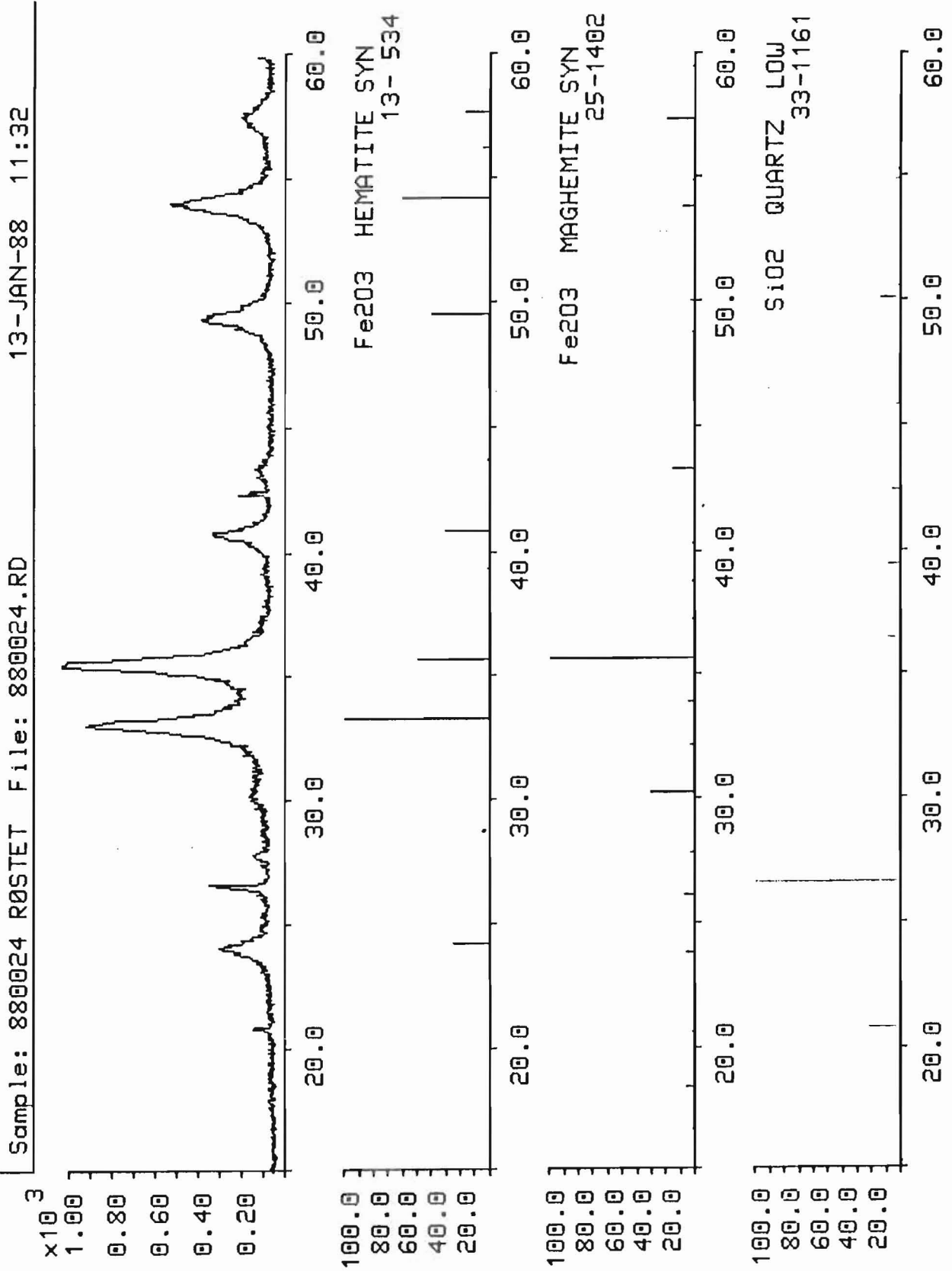


Fig. 2. XRD-diagram for røstet myrmalm, sammenliknet med hematitt, maghemitt og kvarts.

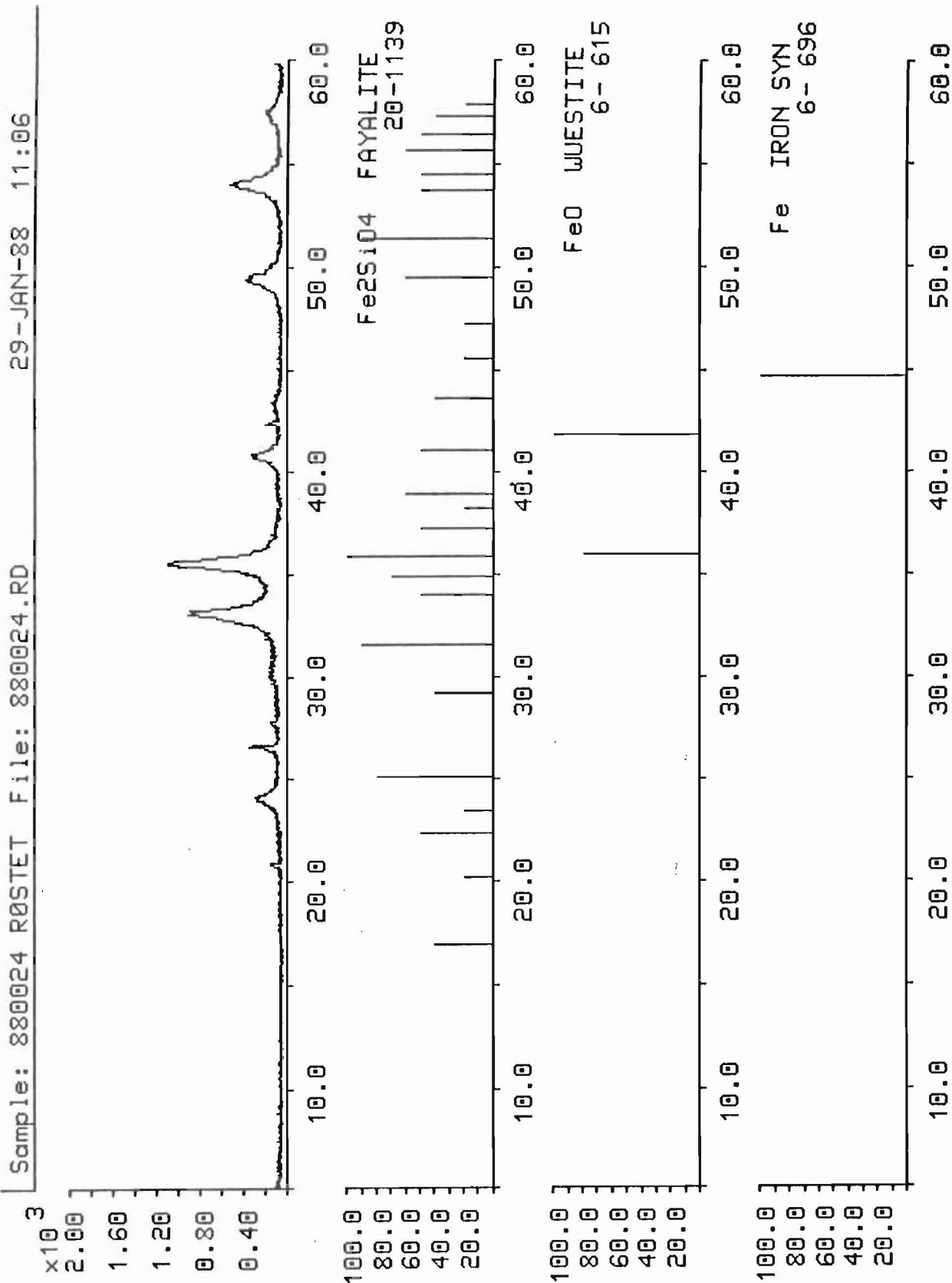


Fig. 3. XRD-diagram for røstet myrnalm, sammenliknet med fayalitt, wüstitt og jern.

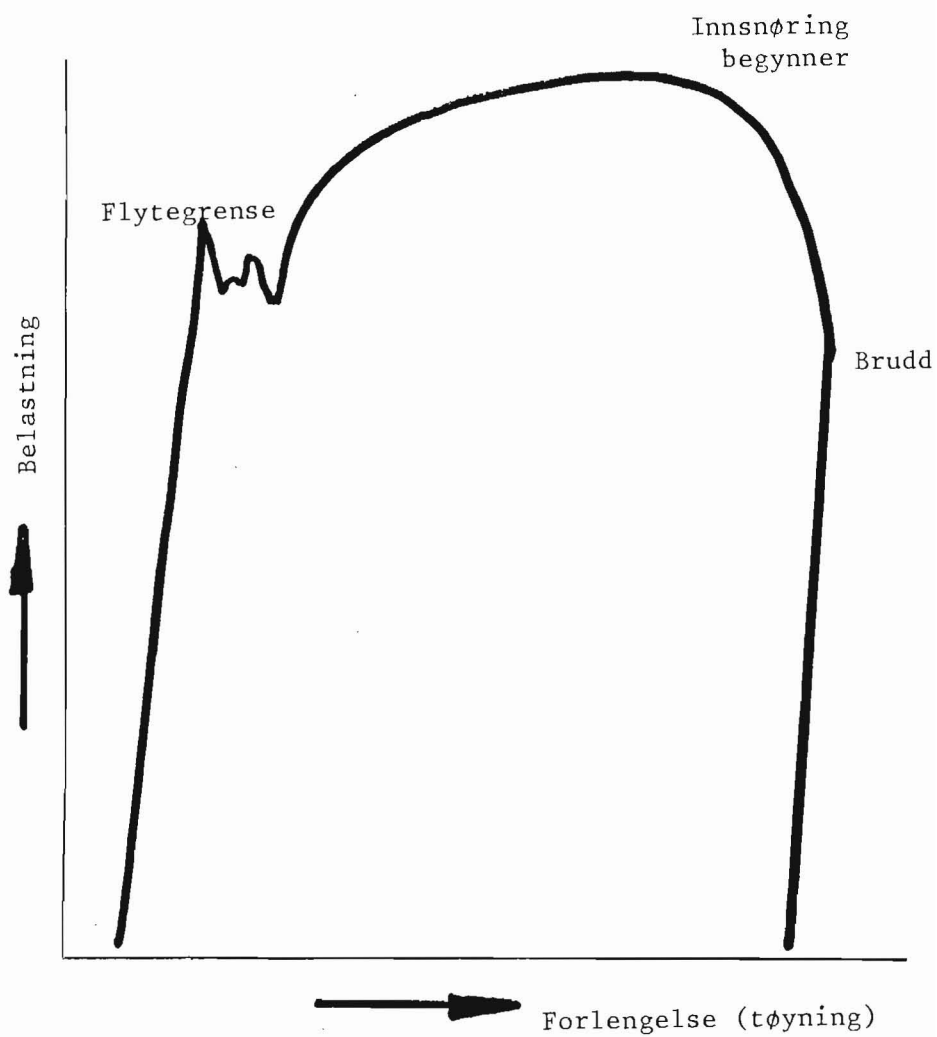


Fig. 4. Strekkdiagram, som referert i teksten.

ARKEOLOGISK JERN - KORROSJONSPRODUKTER OG BEVARING

Roar Sæterhaug
Konserveringslaboratoriet
Arkeologisk avdeling
Vitenskapsmuseet
UNIT

Innledning

Gjenstander av jern representerer en viktig funnkategori for arkeologene i Norge. Bevaring av jern vil derfor stå sentralt i et konserveringslaboratoriums arbeidsområde. I dette foredraget vil jeg berøre følgende punkter:

- A. Hvordan korrosjon oppstår
- B. Korrosjonsprodukter på jern
- C. Bevaringsgrad

A. HVORDAN KORROSJON OPPSTÅR

1. Framstilling/Nedbrytning av jern

Vi har i denne uka sett at framstilling av jern er en **reduksjonsprosess**. Myrmalmen ble redusert til rent jern. Korrosjon er det motsatte - en **oksydasjonsprosess**. Likeledes som framstilling av jern krever et **reduksjonsmiddel** krever korrosjon et **oksydasjonsmiddel**.

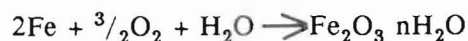
2. Korrosjon

Siden arkeologisk jern som regel er forbundet til kulturlagene i jorda, vil jeg snakke om våt korrosjon som er av elektrokjemisk natur. Jeg skal enkelt prøve å beskrive hva som skjer i en slik prosess. Noen inngående beskrivelse av korrosjon vil dere ikke få, til det er tiden for knapp og mine kunnskaper begrenset.

Som før nevnt er korrosjon en **oksydasjon**. Oksydasjonsmiddelet kan være:

- 1. Luft O_2 (oksygen)
- 2. Vann H^+ (hydrogenioner)

En helt enkel reaksjonsligning hvor O_2 (oksygen) og H_2O er tilstede er:



Jernoksyder og -hydroksyder er det som vi kaller for rust. I sure omgivelser (pH 3-4) vil H^+ være den vesentligste drivkraften i korrosjonsprosessen. Ved høyere pH-verdier vil O_2 være drivkraften.

3. Elektrokjemisk prosess - "flat" korrosjon.

Vi sa at korrosjon av arkeologisk jern vesentlig er en elektrokjemisk prosess. I en slik prosess har vi en anode og en katode som i et galvanisk element. I praksis foregår anode- og katodereaksjonen ikke på samme sted på jernet. (Se fig.1.)

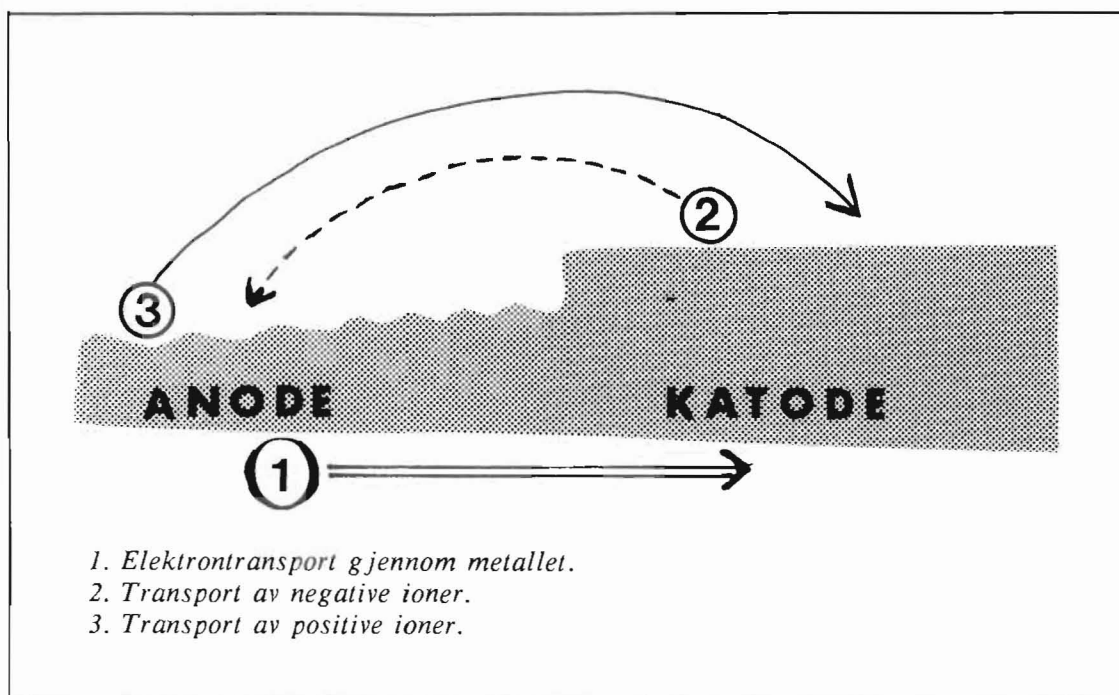


Fig.1. Elektron- og ionetransport ved flat korrosjon.

Som det framgår av fig.1. vil vi få følgende elektron- og ionetransport ved "flat" korrosjon:

1. Elektrontransport gjennom metallet fra anode til katode
2. Transport av negative ioner fra katode til anode.
3. Transport av positive ioner fra anode til katode.

Den elektrokjemiske prosessen kan sees som 4 delprosesser:

Oksydasjon ved anoden $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Reduksjon ved katoden $\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

Elektrontransport fra anode til katode

Ionetransport på overflaten

Resultatet av en slik elektrokjemisk prosess er at vi får en tæring av metallet. Anode- og katodeområdene bytter stadig plass slik at vi får en "flat" korrosjon/tæring.

4. "Grubetæring"

"Grubetæring" er en alminnelig form for korrosjon for arkeologisk jern. Vi vil ha de samme prinsipper med hensyn til anode/katodereaksjon og elektrontransport som ved "flat" tæring. Ved "grubetæring" vil det dannes store gruber med et rustlokk (blærer) over. (Se fig.2.)

I jordsmonnet finnes salter som Cl^- , SO_4^{--} og NO_3^- . Kloridene, sulfatene og nitratene vil uhindret gå til bunnen av gruben uten å felles ut. Vi får da et surt miljø som vil aktivisere den videre korrosjon. Spesielt er det kloridene som skaper de største problemene ved jernkorrosjon.

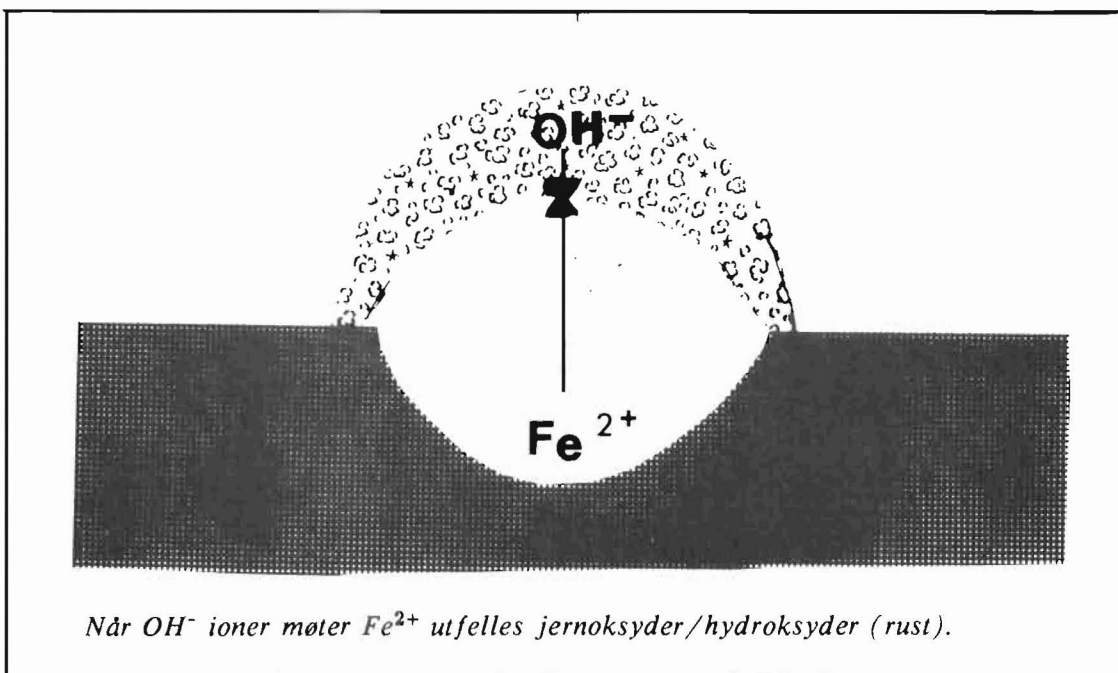


Fig.2. Grubetæring.

B. KORROJONSPRODUKTER PÅ JERN.

1. Korrosjonsprodukter på jern når oksygen og vann er tilstede.

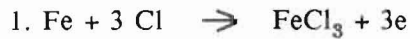
Vi skal se hvilke korrosjonsprodukter vi får når O_2 og H_2O er tilstede:

GØTHITT	gul/brun	$\text{FeO}(\text{OH})$
LIMINITT	gul/brun	$\text{FeO}(\text{OH})n\text{H}_2\text{O}$
HEMATITT	rød	$2\text{Fe}_2\text{O}_3$
MAGNETITT	svart	Fe_3O_4

Korrosjon av jern når O_2 og H_2O er tilstede er en tilbakevending til naturtilstanden myrmalm som er mere stabil enn rent jern. Lysbildet viser et to-egget sverd med sølv på underhjaltet. Vi ser det røde oksydlaget hematitt. Likeledes ser vi grubetæring med blærer over.

2. Korrosjonsprodukter på jern når klorider og fosfater er til stede.

Det mest vanlige korrosjonsprodukt ved arkeologisk jern er jernklorid FeCl_3 . Korrosjonsprosessen hvor vann og klorider inngår foregår i flere trinn.



Jernklorid dannes på overflaten ved reaksjon med kloridene i grunnen.



Jernklorid reagerer med vann og det dannes jernhydroksyd og saltsyre.

I den siste prosessen får vi dannet saltsyre (HCl) som vil virke som en elektrolytt. Sålenge vann, salter og oksygen er tilstede vil korrosjonssyklusen ta plass inntil jernet er fullstendig nedbrutt.

Spesielt ved bygravninger, gårdshauger o.l. med mye avfall av dyrebein vil korrosjonsproduktet være jernfosfat (vivianitt). Vivianitt $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ er et blått, hardt og forholdsvis stabilt korrosjonsprodukt.

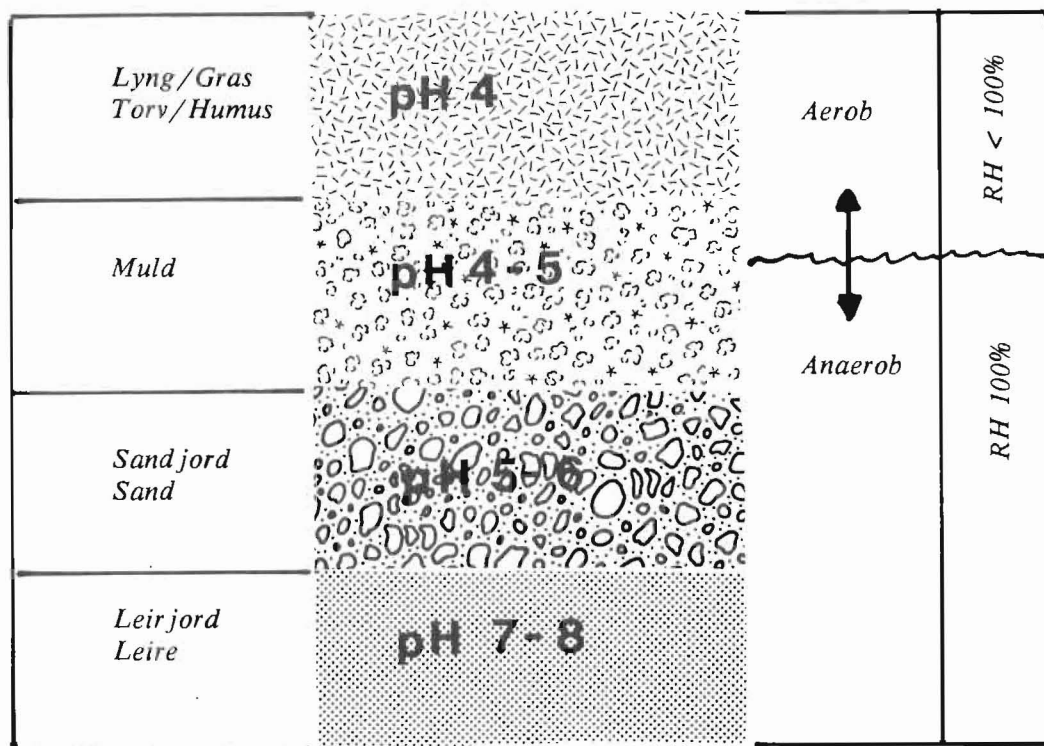


Fig.3. Eksempler på pH-verdier i forskjellige jordlag.

C. BEVARINGSGRAD

1. Jordsmonnet.

Miljøet danner korrosjonsproduktene og for arkeologisk jern vil jordsmonnet spille en vesentlig rolle. Den relative fuktighet (RH) og surhetsgraden (pH) i jorda vil være avhengig av jordsmonnets karakter. Figur 3 viser pH og RH-verdiene i forskjellige jordlag/dybder.

For arkeologisk jern vil vi nesten bestandig ha bortimot 100% RH et stykke ned i jordsmonnet. Unntak er gravhauger på morenerygger og sandtak med god drenering. Grovt kan vi si at RH-verdien er avhengig av dybden.

pH-verdien er avhengig av jordsmonnet. Planterester, lyng og gras brytes ned til humus. Det dannes humussyre og det er den vesentligste årsaken til det sure klimaet like under torvlaget. Sur nedbør utfeldes lengre ned (Al-Fe-Mg) og kan påvirke pH-verdien lengre ned i jordsmonnet.

2. Korrosjonshastigheten.

Hva skjer med jernet når det tilfeldigvis eller planlagt (grav) havner i jorda? Som regel vil korrosjonen starte raskt og den vil avta med tiden. Årsaken til dette er at jernet i første fase har:

- * rikelig tilgang på oksygen - areob sone
- * lav pH-verdi - surt jordsmonn
- * stor ubeskyttet overflate

Etterhvert som kulturlaget vokser oppover vil vi få følgende situasjon:

- * tilgang på oksygen avtar - anaerob sone
- * pH-verdien stiger - mere nøytralt jordsmonn
- * overflaten får et "beskyttende" korrosjonslag

Når så jernet engang blir utgravd eller kommer til overflaten vil det bli utsatt for rikelig tilgang på oksygen. Dersom det er jern tilbake vil korrosjonen starte raskt, korrosjonslag sprekker opp og nye overflater blir blotlagt og angrepet. I slike situasjoner er det viktig å få kontroll med jernet umiddelbart etter en utgraving. Av erfaring kan jernet bli utsatt for større ødeleggelser umiddelbart etter en utgraving enn på de 1000 år i graven. Oppbevaring av jernet i basisk væske (høy pH-verdi) vil hindre ødeleggelser under utgravningsperioden.

3. Ulike bevaringsgrader.

Vi har før sagt at korrosjonsprodukter/hastighet er avhengig av miljøet. De fleste arkeologer har opplevd de svært forskjellige bevaringsgradene som eksisterer for arkeologisk jern. Hvorfor er det slik og er det en forklaring på dette? Når jernets kvalitet er forskjellig og når jernet kommer fra forskjellige utgravninger vil vi akseptere og forstå den forskjellige bevaringsgraden. Men når jernets kvalitet er lik og kommer fra samme grav er det vanskeligere med en fornuftig forklaring.

I en grav oppstår det "micro-miljøer" fordi andre materialer som også følger med i graven påvirker miljøet. Korrosjonsprodukter fra kopper (kopperkarbonater) kan forhindre nedbrytning av organiske materialer. Eksempler på dette er alle de tekstilfragmenter som blir funnet i kontakt med bronser. Skålspenner av bronse har som regel en nål av jern. Som regel er jernnåla fullstendig nedbrutt, mens bronsen er godt bevart. Dette forklares ved at det oppstår et galvanisk element med jernet som anode. Vi får en elektrontransport fra jernet til kopperet.

Andre eksempler på "micro-miljøer" er skjelettgraver. Skjelettmaterialer, som er rikt på fosfor høyner pH-verdien i jorda og dermed også bevaringsgraden for jern. Det er en tendens til at jernet i branngraver er bedre bevart enn jern fra ikke branngraver. En av årsakene til dette er at jernet i branngraver på

grunn av varme og oksygen får et tykt oksydlag som vil beskytte jernet mot videre nedbrytning.

Dette er bare noen eksempler på hvordan "micro-miljøer" kan virke bevarende på jernet. Vi har i dag for liten kunnskap om de ulike bevaringsforholdene for arkeologisk materiale. Med større kunnskap på dette feltet vil vi være i stand til gi disse gjenstandene muligheter til bedre stabilisering og lengre bevaringstid etter en utgraving.

Referanser:

1. Nils Hjelm-Hansen. Elementær korrosjonslære.
Berry Knight. The Corrosion Products of Archaeological Iron-work before and after Excavation.
Nordisk videruddannelse af konservatorer, København 17-28 august 1987. Natinalmuseet, Bevaringssektionen.
2. Ione Gudyne, Henry Hodges, Andrew Oddy. Notes for a short Course in Conservation. The British Museum. Research Laboratory 1973.
3. Roar Sæterhaug. Konservering av oldsaker. Museumskurset 1973. Universitetet i Trondheim. Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab Museum.

RAPPORT ARKEOLOGISK SERIE

1985

1. Stenvik, Lars F: Arkeologiske registreringer i forbindelse med konsesjonssøknad kraftutbygging i Meråker, Nord-Trøndelag
2. Pareli, Leif: Registreringer av samiske kulturminner i Øvre Glomma
3. Pareli, Leif: Registreringer av samiske kulturminner i Vefsna-vassdraget
4. Pareli, Leif: Registreringer av samiske kulturminner i forbindelse med konsesjonssøknad, kraftutbygging i Meråker, Nord-Trøndelag
5. Pettersen, Kristian og Scheen, Rolf: Uransbrekka. Et mesolittisk fangststed.

1986, ingen utgitte rapporter

1987

1. Paus, Aage;
Jevne, Erik og
Gustafson, Lil: Kulturhistoriske undersøkelser i Innerdalen, Kvikne, Hedmark

1988

1. Hatleskog, Anne-Brith m fl: Arkeologiske undersøkingar i 1987 i samband med planlagt ilandføring av gass frå Haltenbanken. Alternativ: Røstøya
2. Hatleskog, Anne-Brith m fl: Arkeologiske undersøkingar i 1987 i samband med planlagt ilandføring av gass frå Haltenbanken. Alternativ: Akset
3. Søborg, Hans Chr m fl: Arkeologiske undersøkelser 1987 i forbindelse med planlagt ilandføring av gass fra Haltenbanken. Alternativ: Lauvøya
4. Johansen, Kristine m fl: Arkeologiske undersøkelser 1987 i forbindelse med planlagt ilandføring av olje fra Haltenbanken. Alternativ: Vågøy
5. Pettersen, Kristian m fl: Arkeologiske undersøkelser 1987 i forbindelse med planlagt ilandføring av gass fra Haltenbanken. Alternativ: Grisvågøy
6. Pettersen, Kristian m fl: Arkeologiske undersøkelser 1987 i forbindelse med planlagt ilandføring av gass fra Haltenbanken. Alternativ: Storvik

1989, ingen utgitte rapporter

1990

1. Div forfattere: Arkeologi og etikk. Foredrag holdt ved det norske arkeologmøte (NAM) symposium, Stjørdal, april 1989
2. Søborg, Hans Chr: Arkeologiske undersøkelser 1988 i forbindelse med planlagt ilandføring av gass fra Haltenbanken. Alternativ: Tjeldbergodden



ISBN 82-7126-467-2
ISSN 0332-8546

