

# Trøndelagsovner

*Arkeologisk forståelse av jernutvinningsteknologi fra eldre  
jernalder i Midt-Norge*

**Erlend Nordlie**



Masteroppgave i arkeologi

Institutt for arkeologi, konservering og historie

UNIVERSITETET I OSLO

Våren 2009



---

# Takk!

Til alle hyggelige medstudenter og kolleger, til alle museumsansatte, stipendiater og pensjonerte professorer som har svart på mer eller mindre sammenhengende spørsmål, og særlig til Bernt Rundberget som sendte meg hovedfagsoppgaven sin med smilefjes på i posten.

Til foreldrene og søstrene mine for mat, drikke, tak over hodet og gjennomlesing til langt på natt.

Til to tålmodige og hjelpsomme veiledere, Ingrid Fuglestvedt og Almut Schülke.

Til Frid, som er hovedmotivasjonen for å bli ferdig med det her og komme meg ut av lesesalen. Takk for at du holdt ut!

Tusen takk alle sammen!

Erlend



---

# Innhold

<b>TAKK!</b> .....	<b>I</b>
<b>INNHold</b> .....	<b>III</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTILLING .....	1
1.2 ARBEIDETS AVGRENSNING, GEOGRAFISK, KRONOLOGISK OG MATERIELT .....	2
1.3 LITTERATURGRUNNLAGET I DETTE ARBEIDET .....	2
1.4 VIKTIGE BEGREPER .....	5
1.4.1 <i>Teknologi</i> .....	7
1.5 METODE I DETTE ARBEIDET.....	8
1.6 OPPBYGNINGEN AV ARBEIDET .....	10
<b>2. FORSKNINGS- OG TOLKNINGSHISTORIE</b> .....	<b>11</b>
2.1 JERNVINNEFORSKNINGEN I NORGE.....	11
2.2 OVNSTYPER I NORGE I ELDRE JERNALDER.....	13
2.3 FORHOLDET MELLOM JERNUTVINNING OG JERNALDER.....	15
2.4 ULIKE METODISKE TRADISJONER.....	17
2.4.1 <i>Analogibruk</i> .....	18
2.4.2 <i>Eksperimenter</i> .....	19
2.4.3 <i>Arkeometallurgi</i> .....	21
2.5 NYERE SATSNINGER .....	22
2.5.1 <i>Forskningsstatus på trøndelagsovnene</i> .....	24

---

<b>3.</b>	<b>TRØNDELAGSOVNENE: ARKEOLOGISK MATERIALE OG KONTEKSTER.....</b>	<b>25</b>
3.1	DISTRIBUSJON, FUNNSTEDER OG LOKALISERINGSFAKTORER.....	26
3.2	STRUKTURER OG MATERIALE PÅ JERNUTVINNINGSPLASSENE .....	29
3.2.1	<i>Ovnene .....</i>	29
3.2.2	<i>Rosettene: groper anlagt rundt ovnene.....</i>	32
3.2.3	<i>Andre strukturer på jernutvinningsplassene .....</i>	33
3.2.4	<i>Slagget fra trøndelagsovnene.....</i>	34
3.3	DATERING AV TRØNDELAGSOVNENE .....	36
3.4	BEVARINGSFORHOLD OG REPRESENTATIVITETSPØRSMÅL .....	38
<b>4.</b>	<b>DRIFTEN AV OVNENE.....</b>	<b>40</b>
4.1	MYRMALM .....	44
4.1.1	<i>Oppdagelsen av myrmalm.....</i>	46
4.1.2	<i>Røsting .....</i>	47
4.2	BRENSEL .....	49
4.2.1	<i>Praktiske hensyn ved bruk av ved .....</i>	50
4.2.2	<i>Foretrukket treslag.....</i>	51
4.3	OVNENE OG BYGGEMATERIALENE.....	53
4.4	REDUKSJONSFORLØPET .....	54
4.4.1	<i>Lufttilførselen .....</i>	57
4.5	SLAGGETS FUNKSJON OG KILDEVERDI.....	59
4.5.1	<i>Kvantifisering av arbeid og utbytte.....</i>	61
4.6	JERN.....	63
4.6.1	<i>Karbon .....</i>	64
4.6.2	<i>Fosfor.....</i>	65

---

4.6.3	<i>Svovel og andre stoffer</i> .....	66
4.7	UBESVARTE SPØRSMÅL.....	67
<b>5.</b>	<b>UUTNYTTEDE MULIGHETER</b> .....	<b>69</b>
5.1	NATURVITENSKAPELIGE UNDERSØKELSER .....	69
5.2	DATERINGSMETODER .....	70
5.3	EKSPERIMENTELT ARBEID .....	71
5.4	UTGRAVNINGSG- OG REGISTRERINGSMETODER .....	72
<b>6.</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>74</b>
	<b>KILDELISTE</b> .....	<b>77</b>

---

## Figurliste

Figur 1. Plantegning av anlegg på Heglesvollen .....	25
Figur 2. Kart over distribusjonsområde for jernutvinningen i Trøndelag .....	27
Figur 3. Slaggroper på Heglesvollen .....	31
Figur 4. Profiltegninger av snitt gjennom slaggroper .....	31
Figur 5. Oversiktsbilde, avdekket slaggrop og groper rundt .....	32
Figur 6. Plantegning, groper og stolpehull .....	34
Figur 7. <i>Chaîne opératoire</i> for forberedelser til jernutvinning .....	42
Figur 8. <i>Chaîne opératoire</i> for brenning i trøndelagsovn .....	43



---

# 1. Innledning

De såkalte trøndelagsovnene tilhører 'første generasjon' jernutvinningsteknologi i Norge (Espelund 2008:119-120), og var i bruk i Midt-Norge i eldre jernalder. De skiller seg fra jernutvinningsteknologier som ble brukt andre steder i landet i samme periode, og fra senere teknologi. Dette gjelder både formen på de enkelte ovnene og den romlige organiseringen av jernutvinningsplassene de inngår i, og man må dermed anta at også fremgangsmåten ved bruken av dem hadde egne særtrekk. Selve betegnelsen 'trøndelagsovner' vil bli definert og drøftet nærmere under (se 1.4).

## 1.1 Problemstilling

Hovedproblemstillingen i dette arbeidet er å vise hvilket bilde det arkeologiske materialet gir av den tidligste jernutvinningsteknologien i Midt-Norge. Hva vet vi om hvordan trøndelagsovnene virket, og hva vet vi ikke? Hvilke grunnlag bygger arkeologiske tolkninger av denne teknologien på? For å få en slik oversikt vil jeg gi en beskrivelse av teknologien som en rekke vesensforskjellige elementer; elementer som i en bestemt sammensetning utgjør en helhet. Denne framgangsmåten bygger på Pierre Lemonniers (1992) metode for å analysere teknologier som komplekse kulturelle fenomener. Lemonnier (1992:5-6) definerer i den sammenheng teknologi som et samspill mellom råstoffer, energi, gjenstander, handling og kunnskap. I en slik definisjon vil trøndelagsovnene som gjenstander representere et produksjonsmiddel, et redskap til å omforme råstoffene ved hjelp av handling, kunnskap og kjemisk energi.

Innsikt i jernutvinningen som teknologi er en forutsetning for å forstå jernutvinningens bakgrunn og virkning i et større bilde. Undersøkelsene som er gjort har ikke gitt tilstrekkelig grunnlag til å forstå alle sider av driften av ovnene, og dette er et problem i forhold til videre tolkninger av økonomi og samfunnsforhold i Trøndelag i eldre jernalder.

En gjennomgang av de teknologiske elementene viser at to hovedproblemer vanskeliggjør forståelsen av jernutvinningsteknologien trøndelagsovnene representerer. For det første er redskapene i teknologien ikke fullstendig bevarte, i og med at ovnene kun finnes som

---

fragmenter i det arkeologiske materialet. For det andre er den opprinnelige kunnskapen om fremgangsmåten ikke overlevert, det er ingen påviselig kontinuitet mellom denne teknologien og prosesser som er dokumentert som levende tradisjoner.

I litteraturen som drøfter trøndelagsovnene er det fremsatt flere tolkninger av deres funksjon i jernutvinningsteknologien, og det er gjort forsøk på å beskrive teknologien som et helhetlig system på grunnlag av ovnene og andre kilder (se 1.3 og kapittel 2). Dette arbeidet sikter mot å klarlegge grunnlaget for tolkningene, gjennom å drøfte egenskapene til det arkeologiske kildematerialet knyttet til trøndelagsovnene, samt metodene som er brukt for å undersøke materialet.

## **1.2 Arbeidets avgrensning, geografisk, kronologisk og materielt**

Trøndelagsovnene som arkeologisk materiale skiller seg fra andre jernutvinningsovner i form (se 2.1 og 3.3), distribusjon (se 3.1) og datering (se 3.2). Avgrensingen av dette arbeidet er dermed for det meste gitt av materialet i seg selv, da trøndelagsovnene er de viktigste kildene i min undersøkelse av teknologien de har vært en del av (se 1.4). De andre elementene i teknologien er ikke i samme grad egnet som arkeologisk kildemateriale.

Materialet dette arbeidet bygger på kommer fra utgravninger i Trøndelagsfylkene. Funnene består av rester av ovner, tilknyttede strukturer og slagg (se 3.3). Det er gjort enkelte funn av ovner som kan være av samme type og 'tradisjon' også andre steder (se 3.1), men de er ikke tilstrekkelig undersøkt til å bidra noe vesentlig til en forståelse av teknologien.

Dateringene fra jernutvinningsplassene med trøndelagsovner viser at de har vært i bruk i eldre jernalder, fra omkring 350 f. Kr. til rundt 500 e. Kr (Prestvold 1999:53). Dateringene er til dels problematiske, og vil derfor bli diskutert nærmere under (se 3.2).

## **1.3 Litteraturgrunnlaget i dette arbeidet**

Trøndelagsovner er arkeologisk dokumentert og publisert i forbindelse med en håndfull undersøkelser etter de første utgravningene på Heglesvollen i Levanger på første halvdel av 1980-tallet (Farbregd m. fl. 1985 a). Ovner og anlegg av trøndelagstypen er undersøkt blant

---

annet på flere lokaliteter i Meråker (Prestvold 1999; Rundberget 2002:68) og i Midtre Gauldal (Espelund og Stenvik 1993). Dette er de lokalitetene som er grundigst undersøkt, dokumentert og publisert, og er dermed hovedgrunnlaget for drøfting av teknologien. Det finnes anlegg med trøndelagsovner mange flere steder, som kun er nevnt summarisk i publisert litteratur (Espelund 1997 d:105; 2008:116-117, 129).

Oddmunn Farbregd (1979) var en av de første arkeologene som argumenterte for at grundigere arkeologiske undersøkelser av trøndelagsovnene kunne gi større innsikt i økonomien og bosetningsmønsteret i Trøndelagsfylkene i perioden. Problemstillingene han foreslo var knyttet til bosetning og erverv, undersøkt for eksempel ved ”*stikkprøver for å sjå om det kjem fram noe mønster i korleis dateringar fordeler seg kronologisk og geografisk*” (Farbregd 1979:57). Siden den gang har mange ovner og anlegg blitt registrert, datert og til dels undersøkt, slik at det faktisk har kommet frem mønstre i fordelingen (se 3.1 under). På slutten av nittitallet ble det imidlertid klart at man ikke vet nok om selve teknologien, særlig formen på ovnene over bakkenivå, og fremgangsmåtene ved bruken av ovnene (Espelund 1999:131-132; Rundberget 2002:1, 11-12).

Mye materiale er dessverre upublisert, og dokumentasjonen fra de siste utgravningene finnes først og fremst i form av utgravningsrapporter arkivert hos NTNU-Vitenskapsmuseet i Trondhjem (Rundberget 2002:118). De viktigste drøftingene som fokuserer spesifikt på dette materialet er to hovedfagsoppgaver (Prestvold 1994; Rundberget 2002), heller ikke de publisert. Kristin Prestvolds hovedfagsoppgave ble publisert med noen mindre endringer senere (Prestvold 1999). For øvrig er beskrivelser og tolkninger tilgjengelig kun i artikler i for eksempel *Viking* (Farbregd m. fl. 1985 a) og i noen seminarutgivelser (Espelund 1989; Espelund og Stenvik 1993; Stenvik 2003 a). Ovnene er også nevnt som en mindre del av en større sammenheng, for eksempel i drøftinger av tidlig jernutvinning mer generelt (for eksempel Espelund 1999; Stenvik 2003 a; 2003 b).

I Kristin Prestvolds hovedfagsoppgave fra 1994 finner man en grundig gjennomgang av et godt egnet utvalg av det relevante arkeologiske materialet. Prestvold (1999) har selv vært med på å undersøke jernutvinningsanlegg fra eldre jernalder i Trøndelag og gir gode beskrivelser av funn og strukturer. Hovedfokuset er imidlertid ikke på teknologiske spørsmål, men knyttet til en drøfting av samfunnsendringer i eldre jernalder og ”makt, ideologi og sosial struktur” (Prestvold 1999:70). En nyere hovedfagsoppgave som dreier seg

---

om samme type materiale ble levert av Bernt Rundberget i 2002. Denne har tittelen *Teknologi og Jernvinne. En teoretisk og metodisk tilnærming til jernvinna som kilde for menneskelig kunnskap og handling*, men behandler heller ikke først og fremst spørsmål om ovnenes form og funksjon. Rundbergets definisjon av teknologi er svært vid: ”Sosiale, politiske, religiøse og mytiske faktorer er alle en del av teknologien, like mye som metallurgi, økonomi og bosetting” (2002:1).

Litteraturen som er nevnt hittil gir beskrivelser av både trøndelagsovnene og deres kontekst, og eksempler på tolkninger av teknologien ovnene har vært en del av. For å vurdere disse tolkningene og metodene som er brukt er det nødvendig å sette seg inn i en del mer generell litteratur. Utover dokumentasjonen og drøftingen av trøndelagsovnene som arkeologisk materiale, har jeg i dette arbeidet trukket inn en del litteratur som tar opp metode og teori som brukes i jernvinneforskning, og eksempler på metoder anvendt i forskning på jernutvinning i andre geografiske og tidsmessige sammenhenger. Dette fordeler seg på arbeider med eksperimentell arkeologi og jernutvinningsforsøk (Espelund 1997 c; 2009; Gjerløff og Sørensen 1997; Hjärthner-Holdar m. fl. 1997; Jakobsen m. fl. 1988; Lyngstrøm 2008; Reynolds 1999), etnoarkeologi (Barndon 2001; Gosden 2005) og studier bygget helt eller delvis på historiske kilder (Englund 2002; Espelund 1997 b; 1997 c; 1999).

Publikasjoner fra større undersøkelser og forskningsprosjekter som har tatt for seg spor etter jernutvinning andre steder i landet og fra andre perioder er også nyttige som eksempler på metodebruk, som sammenligningsgrunnlag og i visse tilfeller som kilder til allmenngyldige data angående for eksempel malm og brensel. Resultatene fra jernvinneundersøkelsene på Gråfjell i Hedemark (Rundberget 2007) er det nyeste eksemplet, og den eldste er fra Møsstrandutgravningene i Telemark (Martens 1988). Undersøkelsene på Dokkfløy i Oppland (Høeg 1990; Larsen 1991; Narmo 1996) og Rødsmoen i Hedemark (Høeg 1996; Narmo 1997) er også nyttig referansemateriale. Disse prosjektene foregikk alle i distriktet til Kulturhistorisk museum i Oslo, og har dermed ikke berørt trøndelagsovner. Det er imidlertid fra disse prosjektene man best kjenner de såkalte østlandsovnene fra eldre jernalder, som er den ovnstypen som ligger nærmest trøndelagsovnene i tid og teknologiske trekk (Larsen 2003).

Materialenes ulike kjemiske og fysiske egenskaper og deres betydning for jernutvinningsteknologien er tema i en rekke artikler og utgivelser, særlig i forbindelse med

---

diskusjoner av eksperimentell arkeologi (for eksempel Espelund 1985; 1997 a; 2003; Godfrey m. fl. 2003; Ploquin m. fl. 2003; Rostoker og Bronson 1990; Rueslåttén 1985). Radomír Pleiner (1980; 1989; 2003) har bidratt mye på dette området i en større europeisk sammenheng, og har også fokusert på utviklingen av jernutvinningsteknologier i Europa. Deler av arbeidet hans er dermed nyttig som grunnlag for sammenligninger mellom det norske materialet og det som finnes på kontinentet.

Pierre Lemonnier (1992, 1993) har drøftet materiell kultur, teknologi og teknologisk endring eller variasjon fra et antropologisk utgangspunkt. Disse verkene er også i stor grad orientert mot arkeologisk tolkning av materiell kultur og teknologi, og Lemonnier (1992) har her blant annet utviklet en metode for systematisk beskrivelse og analyse av teknologi som komplekse systemer.

Av litteratur som ikke er knyttet til arkeologi har jeg benyttet to lærebøker fra andre fag, materialteknologi og naturgeografi. A. Almar-Næss (2003) skriver om metalliske materialer, og gir blant annet utfyllende data om egenskapene til jern og jernlegeringer. Jan R. Sulebak (2007) behandler ulike landformdannende prosesser, og inneholder en del betraktninger om forholdet mellom geologi, klima og ressurstilfang i Norge.

## 1.4 Viktige begreper

Det er nødvendig å vurdere kort om 'trøndelagsovner' er en heldig betegnelse, og hva som legges i termen. I litteraturen viser denne termen ofte til noe mer enn bare de arkeologisk dokumenterte restene av selve ovnene, ofte impliseres jernutvinningsteknologien som helhet. Ovnene representerer teknologien de har vært en del av. Dette er ikke ulogisk, ovnene er 'knutepunktet' der alle de andre trådene i teknologien møtes (se kapittel 4). Geografisk sett er det ikke feil å kalle dem trøndelagsovner i norsk sammenheng, men lignende teknologi finnes i tilstøtende regioner i Sverige (se 3.1). For å være helt korrekt burde en geografisk begrunnet betegnelse være 'midt-nordisk ovn'. En slik betegnelse har imidlertid ikke vært brukt i noe av litteraturen som tar for seg ovnene, i motsetning til en del andre termer: heglesvollovn, rosettanlegg, hesteskoovn, etter henholdsvis et funnsted og to spesielle trekk ved utformingen. I og med at rosettene ikke er funksjonsbestemte, og viser en viss variasjon fra funnsted til funnsted (se 3.2.2) er dette ikke et veldig godt egnet grunnlag for en

---

typebetegnelse. Åpningen i en side av slaggruppen, som gjør at ovnene i plan ligner på hestesko når de avdekkes, finnes også ved enkelte andre ovnstyper (se 3.2.1). Dermed er denne betegnelsen heller ikke helt heldig. Betegnelsen heglesvollovn er mindre informativ enn trøndelagsovn. For å gi ovnstypen et navn basert på de teknologiske særtrekkene ved driften måtte man tatt hensyn til en hel rekke faktorer som til viss grad ikke er klart definert (se 3.2). Betegnelsen trøndelagsovn er allerede i bruk, og skiller denne ovnstypen og teknologien fra andre ovnstyper uten å være tvetydig, misvisende, unødvendig tungvint og lang eller avhengig av særtrekk som er åpne for tolkninger. Som Lars-Erik Englund (2002:242, 250) påpeker er ikke klassifisering av ovnstyper et mål i seg selv, men et hjelpemiddel i forskningen på jernutvinning, og jeg anser det som mest hensiktsmessig å kalle ovnstypen trøndelagsovn. Når vi snakker om trøndelagsovner og ovnstyper forøvrig er det også viktig å huske at ingen ovner er funnet komplett bevarte, og de beskrivelsene av typene bygger på fragmentert materiale (se 3.2.1 og 3.4).

I litteraturen kalles ovner for direkte reduksjon av jern vanligvis blesterovner. Denne termen har tradisjonelt skilt slike ovner fra ovner brukt i indirekte prosesser ved jernverkene som ble satt i gang i Norden i middelalderen. Beslektede termer som blesterjern og verbet å blestre, det vil si å utvinne jern ved en direkte prosess, skriver seg antageligvis fra 'blesten' man lagde med blåsebelger. Det vil si at disse ordene kanskje ikke egentlig passer på de ovnene som drøftes her, siden de sannsynligvis har vært drevet med naturlig trekk (se 4.2 og 4.4). Slike ovner beskrives av og til med egne termer på nabospråkene: *dragugn* på svensk og *natural draught/draft* eller *induced draught/draft furnaces* på engelsk. Blestring har blitt et ganske vanlig ord for all direkte reduksjon, men for å unngå assosiasjoner til senere, bedre kjente ovnstyper, vil jeg ikke betegne trøndelagsovnene som blesterovner i dette arbeidet. Begrepet ovner for direkte reduksjon dekker alle de ulike jernutvinningsteknologiene i Norge frem til middelalderen (Espelund 2008:12-13; Stenvik 2003 a), uten å implisere noen teknologiske særtrekk som ikke kan dokumenteres for alle ovnstypene. I tråd med denne begrepsbruken vil jeg også unngå termen brenning som beskrivelse av arbeidet med å utvinne jern i ovnene. I stedet vil jeg bruke ordet brenning om prosessen fra brenselet i ovnen tennes opp til man tar ut jernet av ovnen (jevnfør Prestvold 1999; også bruken av *brænding* i Lyngstrøm 2008). Eventuell forvarming av ovnen og opprensing av ovnen dekkes ikke av denne termen, siden det ikke er klart at dette var en nødvendig del av hver brenning (se kapittel 4).

---

Hele arbeidet med å fremstille jern, fra anskaffelse av råvarer og byggematerialer, bygging og drift av anlegg, til ferdig metall klart til å formes til forskjellige redskap kalles jernvinne. Med *en jernvinne* menes det vanligvis en enkelt jernutvinningsovn, mens *jernvinne* uten bestemt artikkel oftere har betydningen hele arbeidet samlet, som institusjon, erverv eller lignende. Utvinning, vinne og onn er beslektede ord, som alle viser til arbeid med innsamling av en ressurs; onn og vinne er muligens underforstått et sesongbetont arbeid (Espelund 1997 b:111).

### 1.4.1 Teknologi

Teknologibegrepet er allerede nevnt over, og i dette arbeidet vil jeg basere meg på definisjonen som ble formulert av Lemonnier (1992:5-6). I denne definisjonen er teknologier komplekse samspill mellom elementene råstoffer, energi, gjenstander, handlinger og kunnskap. Dette er en definisjon som omfatter alle de elementene som spiller inn i produksjonen og bruken av materiell kultur, og den kan danne grunnlag for en systematisk tilnærming til beskrivelsen og tolkningen av teknologier. Senere i samme verk beskriver Lemonnier (1992:26) også teknologier som rekkefølger med trinn som omformer materialer, en definisjon som kan sees som en mindre detaljert versjon av den første, med større fokus på handlingene.

Disse definisjonene av teknologi er grunnlaget for en metode som kan kalles 'teknografi', beskrivelse av en teknologisk prosess som en *chaîne opératoire* (Lemonnier 1992:26). Dette begrepet lar seg ikke enkelt oversette til norsk. Rekkefølge, kjede og sekvens er mulige oversettelser av *chaîne*, mens *opération* kan oversettes med prosess, virksomhet, gang i tillegg til operasjon. *Mode opératoire* betyr fremgangsmåte, betydningen av *chaîne opératoire* bør da være handlingsrekkefølge eller mer spesifikt en rekke trinn som i sammenheng utgjør en prosess. En slik rekke innebærer i grunnleggende trekk en viss logisk oppbygning i og med at enkelte trinn ikke kan utføres før andre er fullført, selv om deler av rekkefølgen kan være vilkårlig (Lemonnier 1992:29, 41). Teknologier følger dermed til en viss grad en nødvendig indre 'fysisk logikk' eller lovmessighet som mennesker ikke kan endre på etter behov eller lyst (Hodder 1991:57-58). Anvendelsen av disse definisjonene i drøftingen av jernutvinningsteknologi blir tatt opp under.

---

## 1.5 Metode i dette arbeidet

For å få oversikt over jernutvinningsteknologien som trøndelagsovnene har vært en del av, er det nødvendig med en beskrivelse av elementene i teknologien og en drøfting av sammenhengen mellom disse elementene (se 1.1 og 1.4.1). Dette kan gjøres ved å sette de kjente sidene ved teknologien i system og sammenheng som en *chaîne opératoire*.

I og med teknologibegrepet som ble definert over er trøndelagsovnene kun ett av flere elementer i jernutvinningen i Midt-Norge i eldre jernalder. Når ovnene selv likevel er hovedfokus i dette arbeidet skyldes det at de andre elementene ikke på samme måten kan studeres som materielle spor direkte knyttet til teknologien. Råmaterialene og energien til prosessen må hovedsaklig betraktes som fornybare ressurser (se 4.1 og 4.2), og innsamlingen av dem etterlater ikke nødvendigvis spor som bevares i det arkeologiske materialet. Sporene disse elementene etterlater stammer fra selve bruken av dem i ovnene, og er dermed nært knyttet til selve redskapet eller produksjonsmidlet. Kunnskap og handling er på samme måte usynlig i det arkeologiske materialet, utenom indirekte gjennom bevarte rester av redskapet. Materialene som er endret i den teknologiske prosessen, altså mineralene som har blitt til metall og slagg, er også indirekte kilder til kunnskap og handling. Slagget og metallet er ikke i seg selv elementer i teknologien ifølge definisjonen over, men produkter av teknologien (skjønt slagg kan sees som begge deler, se 4.5). I en arkeologisk studie av teknologi er det nødvendig å inkludere produktene av teknologien i tillegg til de elementene som i følge Lemonniers (1992) definisjon utgjør selve teknologien. En sammenligning av råstoffene og produktene viser hvilke endringer materialet har gjennomgått, og kan dermed indikere hvilke handlinger som har vært utført og hvilken kunnskap som har vært nødvendig.

De teknologiske elementer som blir drøftet i dette arbeidet kan kort oppsummeres slik: råmaterialene er malm, brensel, og byggematerialer til ovnene; redskapene er først og fremst ovnene. Andre redskaper har utvilsomt vært brukt i deler av prosessen, men kan ikke knyttes spesifikt til jernutvinningsteknologien. For eksempel kan vi regne med at en rekke redskaper (øks, spade, osv.) har vært nødvendige til innsamlingen av råmaterialer, men ingen slike er funnet i kontekst med spor etter jernutvinning i Trøndelag i eldre jernalder. Redskapene utenom ovnene kan dessuten antas å i stor grad være anvendelige i mange andre teknologier, og ikke spesielt forbundet med jernutvinningsteknologien.



---

Råmaterialene har i denne teknologien også gitt det viktigste bidraget av energi, i og med at mesteparten av energien som brukes frigis ved reaksjon mellom brensel og luft. Anskaffelsen av råvarer og formingen av redskaper har foregått ved muskelkraft. Dette bringer oss videre til handling og kunnskap som teknologiske elementer.

En skjematisk fremstilling av en *chaîne opératoire* for teknologien vil nødvendigvis ikke være fullkommen i og med at vi ikke vet alt om hvilke handlinger som ble utført som en del av den teknologiske prosessen. Denne metoden er utviklet for etnografisk eller antropologisk arbeid, og det byr på visse problemer å anvende den på arkeologisk materiale. Handlingene kan ikke observeres direkte slik etnografen ville gjort, og kunnskapen kan ikke formidles til oss av dem som hadde den. Med utgangspunkt i materielle spor kan man likevel rekonstruere noe av de ikkematerielle sidene av teknologien. Visse grunnleggende trinn må regnes som helt vesentlige og uunngåelige for jernutvinningen (Barndon 2001:57), som for eksempel innsamling av råstoffer og forming av redskap. Disse handlingene, og handlinger som har satt utvetydige spor i det arkeologiske materialet (for eksempel det å fjerne slagget fra ovnene og hive det på slaggvarepene), kan uten videre settes inn i skjemaet. Andre handlinger, som ikke har satt spor i materialet og som ikke kan regnes som uunnværlige i prosessen, kan ikke føres opp. Eksempler på slike 'usynlige' handlinger er anskaffelse og tilberedning av mat, håndteringen av jernet som ble produsert og alle handlinger som ikke har hatt noen fysisk virkning på materiale som kan gjenfinnes i dag. Dette betyr ikke at slike handlinger ikke forekom, men uten et materielt grunnlag å bygge tolkninger på kan man ikke si noe om dem.

Kunnskapen som var en del av jernutvinningsteknologien må vurderes på samme måte som handlingene: visse ting kan man dedusere logisk at må ha vært nødvendig kunnskap, for eksempel hvordan man kunne finne og bearbeide myrmalm. Denne typen kunnskap kan regnes som en del av det minste felles multiplum som vi kan si sikkert at nødvendig for å utvinne jern. Kunnskap om for eksempel hvilke sosiale regler som var forbundet med jernutvinningen, eller hvilke økonomiske vurderinger man måtte gjøre, har også vært en nødvendig del av teknologien. Denne typen kunnskap er imidlertid ikke tilgjengelig for oss.

Det er likevel mulig å fremstille de kjente trekkene i prosessen skjematisk, slik at man kan sette opp en *chaîne opératoire* med de trinnene som har satt spor i det arkeologiske materialet og deretter drøfte hvilken betydning disse trinnene har hatt og hvordan sporene

---

kan belyse prosessen. De ulike elementene i teknologien beskriver og drøfter jeg videre ut fra publisert materiale og tolkninger, satt opp mot og sammenlignet med undersøkelser og tolkninger av materiale som har grunnleggende fellestrekk.

*Chaîne opératoire*-skjema kan fremstilles på forskjellige måter og med varierende grad av kompleksitet (Lemonnier 1992:26-35). Jeg har laget en enkel variant (se kapittel 4) hvor delprosesser er fremstilt som separate kjeder eller rekkefølger, som så løper sammen. Delprosessene er ikke nødvendigvis parallelle i tid og foregår heller ikke alltid på samme sted, slik at det kan være villedende å presentere alle deler av teknologien i en enkelt lineær kjede. Formålet med den skjematiske fremstillingen er å få en oversikt over hvilke trinn vi kjenner, og hvilke trinn vi ikke kjenner men må anta at har vært nødvendige. Fremstillingen kan ikke bli komplett i og med at vi ikke kan observere teknologien i bruk, men kan likevel fungere som en oversikt og en indikasjon på hvilke deler av teknologien som ikke er fullstendig forstått. De "ytre trekkene" som har satt bevarte fysiske spor i materialet har vært rammen for jernutvinningen (Espelund 1985:61).

## 1.6 Oppbygningen av arbeidet

Etter denne innledningen fortsetter arbeidet med en oversikt over forskning og tolkning av tidlig jernutvinning i Norge, særlig rettet mot bakgrunnen for undersøkelser og forståelse av trøndelagsovnene (kapittel 2). I denne sammenheng blir også ulike retninger eller metodiske tradisjoner innen jernvinningsforskningen kort beskrevet med noen eksempler. Neste del er en beskrivelse av trøndelagsovnene i kontekst og som arkeologisk materiale (kapittel 3). Etter dette kommer en mer analytisk del (kapittel 4) som presenterer en enkel *chaîne opératoire* for vesentlige trinn i jernutvinningen, i to figurer. De teknologiske elementene og trinnene (altså både materialer, ideer og prosesser) som fremgår av denne presentasjonen beskrives og drøftes i sammenheng med tolkninger fremsatt i litteraturen. En del mulige innfallsvinkler til videre utforskning av teknologien drøftes deretter kort (kapittel 5). I konklusjonen (kapittel 6) kommer jeg tilbake til spørsmålene som ble stilt innledningsvis, og oppsummerer hvilke svar undersøkelsene eventuelt kan gi.

---

## 2. Forsknings- og tolkningshistorie

Tidlig jernutvinning i Norge er et bredt og variert felt (se 2.1 og 2.2), men felles for de første 1000 årene er at kildene består av et fragmentert og komplekst arkeologisk materiale.

Forskjellige forskere har angrepet dette feltet på forskjellige måter (se 2.4). Betydningen av jernutvinningen for jernaldersamfunnene har vært vurdert på forskjellige måter, men stort sett har det vært gått ut fra at denne produksjonen hadde en avgjørende betydning for utviklingen i perioden (se 2.3).

### 2.1 Jernvinneforskningen i Norge

Jernvinneforskningen i Norge har gått gjennom mange forskjellige faser siden de første spor av jernutvinning ble arkeologisk undersøkt tidlig på 1900-tallet (Stenvik 2003 b). Slike arkeologiske funn var utgangspunkt for en videre interesse for jernutvinning som faktor i jernaldersamfunnene (Rundberget 2002:6; Stenvik 2003 b:120). Et annet utgangspunkt var historiske dokumenter som nevner jern og jernutvinning (Rundberget 2002:5-6; Stenvik 2003 b:121), i norsk sammenheng spesielt avhandlingen til Ole Evenstad (1999 [1790]).

Forskjellige sider av jernutvinningen, samt bruk og distribusjon av jernet har opptatt forskerne på forskjellige tidspunkter (Stenvik 2003 b). Fra og med 1970-tallet var det en rekke større jernvinneundersøkelser i forbindelse med vannkraftutbygging (for eksempel Larsen 1991; Martens 1988; Narmo 1996), og med den store mengden nytt materiale forsøkte man å definere forskjellige ovnstyper funnet i Norge samt finne sammenhenger med mer etablerte typologier i Europa for øvrig. Til dels ble det prøvd å utvikle en egen typologi for norske/skandinaviske ovnstyper (for eksempel Martens 1988:70-77, 93-95, Narmo 1997:111-112, 117-118). Dette forutsatte gode dateringer, som ble mulig med bruk av  $^{14}\text{C}$ -analyser. De første undersøkelsene som benyttet  $^{14}\text{C}$ -analyser var utgravningene til Irmelin Martens (1988) på Møsstrand i Telemark, hvor brukbare absolutte dateringer forelå første gang i 1973 (Martens 1988:5, 10; Narmo 1996:7).

Etter at  $^{14}\text{C}$ -dateringer begynte å gi det grunnleggende kronologiske rammeverket for jernutvinningens utvikling i Norge (Narmo 1996:7), har jernvinneforskningen først og fremst

---

dreid seg om de økonomiske og demografiske/bosetningsmessige følgene av jernutvinning og jernbruk (for eksempel Farbregd 1979; Farbregd med flere 1985 a:122-126; Johansen 1979; Keller 1979; Stenvik 1991). Økonomiske spørsmål gjelder blant annet kvantifisering av produksjonen, overskuddsproduksjon og handel (for eksempel Stenvik 1996), og jernredskapenes effektivisering av jordbruk og annen produksjon (for eksempel Keller 1979). Som en fortsettelse av dette har man tatt opp samfunnsmessige spørsmål, som utvikling av nye territorielle enheter og samfunnsformer, ny bruk av landskap, endringer i maktforhold og flytting av grenser (for eksempel Johansen 1979; Prestvold 1999; Stenvik 1994).

Trøndelagsovnene ble oppdaget på 70-tallet (Farbregd 1979), og de første grundige arkeologiske undersøkelser fant sted tidlig på 80-tallet (Farbregd m. fl. 1985 a:104, 106). En viss idé om omfanget og utbredelsen av tidlig jernutvinning i området hadde man fra før gjennom overflatiske undersøkelser utført av spesielt interesserte privatpersoner og lokale tillitsmenn for museet i Trondhjem (Farbregd 1979:56; Rundberget 2002:65). De første <sup>14</sup>C -dateringene kom etter en utgravning i 1976, og vakte oppmerksomhet da de viste at ovnene var fra eldre jernalder, altså eldre enn man i utgangspunktet hadde antatt (Farbregd 1979; Farbregd m. fl.1985 a:106-107).

Som oversikten over (se også 1.3) viser har trøndelagsovnene imidlertid ikke blitt gjenstand for noen større forskningsprosjekter lik dem som har blitt andre ovnstyper til del etter utgravningene på Møsstrand (Martens 1988), Dokkfløy (Larsen 1991; Narmo 1996), Rødsmoen (Narmo 1997), og nå nylig på Gråfjell (Rundberget 2007). En lang rekke anlegg med trøndelagsovner er registrert og til dels datert (Espelund 2008:148), men kun nevnt i forbigarten i eksisterende publikasjoner (se for eksempel Farbregd m. fl. 1985 b:85; også Espelund 2007:21).

Behovet for bedre forståelse av jernutvinningen i Norge generelt var blitt klart i løpet av 70-tallet, og jernutvinning var tema på NAM 1978. En artikkelsamling med en rekke innlegg om bruk og utvinning av jern som faktorer i samfunnsutviklingen i jernalder og middelalder ble publisert året etter (Løken red. 1979), og viser hvilke problemstillinger og tilnærminger som var aktuelle på det tidspunktet. Som en helhet gir artiklene av blant andre Irmelin Martens (1979), Anna M. Rosenqvist (1979), Oddmunn Farbregd (1979), Christian Keller (1979) og Arne B. Johansen (1979) en god statusrapport på jernvinnereforskningen i Norge. Man hadde akkurat oppdaget de 'danske' ovnene fra eldre jernalder på Eg ved Kristiansand (Bloch-

---

Nakkerud og Schaller 1979), og var i ferd med å fatte omfanget av den tidlige jernutvinningen i Trøndelag (Farbregd 1979). Behovet for en systematisk tilnærming var blitt klart, for eksempel satte Ellen Høigård Hofseth (1979:76) opp en liste over krav som må oppfylles før et tenkt samfunn kan drive jernutvinning, som også omfattet samfunnsorganisasjon: ”man må utvikle et system for hogst, kullbrenning, blestre, smier og distribusjon”. Spørsmål knyttet til selve virkemåten til ovnene ble imidlertid ikke nevnt.

## 2.2 Ovnstyper i Norge i eldre jernalder

I eldre jernalder var det flere mer eller mindre beslektede men ulike ovnstyper i bruk i Skandinavia og Nord-Europa (Englund 2002:311-313; Lyngstrøm 2008:33-34; Tylecote 1987:154-158, 174-175). I Norge er mange sider ved jernutvinningsteknologiene i eldre jernalder lite kjent (Larsen 2003:92). På grunnlag av arkeologiske undersøkelser kan man likevel fastslå at det ble brukt i alle fall tre ulike ovnstyper, med noe forskjellig geografisk utbredelse (Espelund 2008:85-88, 119–133; Larsen 2003:82, 90; Stenvik 2003 a:77-79). De grunnleggende prinsippene er de samme for disse samtidige ovnstypene, nemlig reduksjon i fast form i en sjakt bygd opp over bakken og slagoppstilling i en grop i bakken under sjakten (Englund 2002:252-255). I utforming er de imidlertid ulike, og man må dermed anta at det også var forskjeller i driftsmåtene. Felles for ovnstyper fra de tidligste jernutvinningsfasene i ulike land i Europa er generelt dårlig bevaringstilstand, og sterk fragmentering av materialet (Lyngstrøm 2008:33-34; se 3.4). Slagget fra de ulike ovnstypene har flere særtrekk, som med enkelte forebehold kan bidra til å skille teknologiene fra hverandre selv på plasser hvor andre kilder til jernutvinningen ikke er bevart (se 3.2.4).

De to andre ovnstypene som er beskrevet fra eldre jernalder i Norge har vært i bruk i områder sør for utbredelsen til trøndelagsovnene. Den enkleste ovnstypen har vært kalt Drengstedovn eller Snorupovn etter funnsteder i Danmark (Lyngstrøm 2008:34-35), men er utbredt over mye av Nord-Europa og har en rekke nasjonale eller regionale betegnelser (Englund 2002:257). Sjakten var bygget av leire over en enkel grop i bakken, og etter en brenning ble sjakten revet eller flyttet, jernet fjernet, og gropen med slag forlatt (Bloch-Nakkerud og Schaller 1979:11; Englund 2002:254). I Norge er spor etter denne ovnstypen relativt sjeldne, og har hovedsaklig vært funnet på Sørlandet, for eksempel på Eg ved Kristiansand (Bloch-Nakkerud og Schaller 1979; Stenvik 2003 a:78).

---

De såkalte østlandsovnene fra eldre jernalder er ikke noen klart definert enhetlig type (Larsen 2003:98), men den best dokumenterte formen ligner på trøndelagsovnene i den forstand at de var permanente strukturer, der den samme gropen ble brukt flere ganger og store slaggblokker ble tatt ut; disse slaggblokkene har avtrykk av trevirke på samme måte som slagg fra trøndelagsovnene (Larsen 2003:82). Sjøktene har imidlertid sannsynligvis vært til engangsbruk, og ut fra størrelsene på slaggblokkene (opp til en meter i diameter og mellom 200 og 450 kg) må man anta at østlandsovnene som helhet har vært betraktelig større enn trøndelagsovnene (Larsen 2003:82, 93). Denne ovnstypen har tilsynelatende ikke kommet i bruk før i eldre romertid (Larsen 2003:92), og må derfor regnes som noe yngre enn trøndelagsovnene på tross av visse dateringsproblemer (se 3.3).

Lars Erik Narmo (1997:115, 117-118) har vist at jernutvinningsplasser fra eldre jernalder i Norge følger et visst mønster i forhold til plassering i landskap, i den forstand at flertallet har en lignende plassering på terrassekanter over vann som beskrevet for trøndelagsovnene (se 3.1). Andre ovnstyper er imidlertid ikke i like stor grad bundet til en slik plassering som trøndelagsovnene er (Larsen 2003:90-92).

På grunn av den begrensede kunnskapen om ovnenes form og virkemåte har det vært vanskelig å sammenligne ovnstyper, for å se eventuelle sammenhenger mellom trøndelagsovnene og andre ovner med slaggroper som var i bruk andre steder i samme periode. Det har vært foreslått flere forskjellige typologier eller klassifikasjonssystemer for ovner, basert hovedsakelig på form, særlig proporsjoner, og antatt driftsmåte (Espelund 1999:87; Martens 1988; Serning 1976:48). Det har vist seg vanskelig å passe ovnstypene inn i et logisk, anvendelig system (Englund 2002:227; Narmo 1997:28; Rundberget 2002:67), og det enkleste og mest hensiktsmessige synes å være å beskrive hver type for seg ut fra de særlige grunntrekkene som foreligger (Englund 2002:27-28, 40-44, 48-51). I forbindelse med tolkning av ovnene på Heglesvollen forsøkte Oddmunn Farbregd, Lil Gustafson og Lars Stenvik (1985 b:82-84) å passe inn strukturene de fant i et av de typologiske systemene som forelå, uten at det bidro til noen større forståelse av teknologien. På tross av ulike og til dels motstridende ovnsdefinisjoner klarte de å finne visse likhetstrekk med ovner fra nærliggende deler av Sverige, som også var datert til omtrent samme tidsrom (Farbregd m. fl. 1985 b:83). Komparative studier av jernutvinningsteknologier fra forskjellige områder vanskeliggjøres av de ulike systemene som finnes for typeinndeling og beskrivelse av ovnstyper (Englund 2002:24-29, 40-46; Lyngstrøm 2008:33). For eksempel argumenterer Lena Grandin og Eva

14

---

Hjärthner-Holdar (2003:33; se også Hjärthner-Holdar 1993:9, 12) for at jernutvinning begynte senest i sen bronsealder i Sverige; ovnene beskrives som samme grunntype som trøndelagsovnene, og kan ha vært fyrt med ved. Stenvik (2003 a:78) tolker derimot tilsynelatende samme kilder som spor etter en annerledes teknologi.

## 2.3 Forholdet mellom jernutvinning og jernalder

Siden Thomsen først formulerte tre-periode-systemet på 1800-tallet har jernalderen i det store og det hele vært oppfattet som en logisk enhet, en fortidig virkelighet, selv om det ikke har vært full enighet om avgrensingene (Solberg 2003:13-15, 38-39). Det som har bundet hele perioden sammen, og skilt den fra tiden før, er bruken av jern som redskapsmateriale. Jern er det eneste som virkelig er felles for alle de kontekstene som kalles jernalder: de forskjellige underinndelingene av eldre og yngre jernalder i Norge og nabolandene, og samisk jernalder, har lite annet til felles seg i mellom.

Ifølge Bergljot Solberg (2003:13) begynner jernalderen i Norge når jernet ”fortrenger bronzen som materiale i redskaper og våpen” omkring 500 f. Kr. Dette

”markerte et klart tidsskifte i vårt land, først og fremst teknologisk, men også samfunnsmessig. [...] så utbredte råvarer som myrmalm og trevirke kunne utnyttes til fremstilling av redskaper og våpen som var bedre og laget av langt lettere tilgjengelige råvarer enn bronsegjenstandene” (Solberg 2003:14).

Dette er hva vi kan kalle den alminnelige oppfatningen av forholdet mellom jern som redskapsmateriale og jernalder: jernredskaper fikk omfattende følger fordi jern var bedre, lettere tilgjengelig og dermed billigere enn materialene man tidligere hadde til rådighet (Harding 1997:335). Å hevde et slikt syn må innebære at man antar at det regelmessig ble utvunnet tilstrekkelig mengder jern av pålitelig kvalitet i regionen (Pilø 1991:61), eller at det var en regelmessig import.

Tilsvarende utsagn eller underforståtte antagelser om jernalderens begynnelse finnes mange steder. Jernalderen begynner ”*när järnet kom*” (Moberg 1976:21-22), og ”*først og fremmest er det anvendelsen av det nye metal jern i stedet for bronze, der karakteriserer periodeskiftet*” (Lund Hansen 1985:88) uansett hvordan de enkelte forskerne ser for seg at det faktisk skjedde. Radomír Pleiner, som i mange år var regnet som selve eksperten på tidlig

---

utvinning og bruk av jern på kontinentet, skrev for eksempel at ”*The first rare traces of the smelting process in European territory are direct evidence of the beginning of the Iron Age*” (Pleiner 1980:384). Oluf Rygh (1999 [1885]:uten sidetall) var mer reservert i en kort drøfting av arkeologisk materiale fra begynnelsen av jernalderen, men skriver likevel at ”[jernets] Indførelse i sig selv var et stort Fremskritt”.

Bruken av jern har vært gitt rollen som årsak til store samfunnsendringer, men har også blitt tolket som utslag eller følge av slike endringer (for eksempel i Pilø 1991:61; Prestvold 1999). Utgangspunktet for alle disse antagelsene er at jern var ”en forbedring i forhold til tidligere redskapsmaterialer”, og førte til ”effektivisering og produksjonsøkning [...] øket avkastning [...] konsentrasjon av rikdom [...] opptak av nye områder” og så videre (Prestvold 1999:95).

Selv om det arkeologiske materialet forøvrig kan tolkes i denne retningen, er det visse problemer med å knytte utviklingen direkte til jernutvinningen. To faktorer som sjelden blir tatt hensyn til, er jernets store potensielle variasjon i fysiske egenskaper, og de mulige følgene ulike utvinningsteknologier har for disse egenskapene. Teknologien er også avgjørende i beregningen av forholdene mellom innsats og utbytte, både i form av mengde og kvalitet. Som Pleiner (1980:384) selv påpeker i en litt mer kontekstbevisst tone senere i den ovenfor siterte artikkelen, forble jern i tidlig europeisk jernalder ”*an extremely valuable metal; the idea of iron as a cheap and easily obtainable and worked metal is obsolete*”. Prosessene fra malm til redskap innebærer mye kompleks teknologi, mange usikkerhetsmomenter, mye arbeid og tid. Man kan ikke regne med at jern som ressurs og materiale fikk store følger for utviklingen før det ble utvunnet lokalt i et slikt omfang at det i dag finnes spor etter det, og med en slik regelmessighet at utbyttet var forutsigbart og egenskapene pålitelige.

Jerngjenstander som skriver seg fra den eldste delen av jernalderen i Norge er sjeldne og stort sett små (Martens 1989:160; Pilø 1991:60-61; Solberg 2003:44-47), og selv områder som for eksempel Lista, med relativt rike funn fra periodene før og etter, har stort sett kun spredte bruddstykker av små jerngjenstander fra eldre jernalder (Larsen 1986:37-42). Heller ikke i Trøndelagsområdene er det funnet mye jern fra eldre jernalder, på tross av at funnmaterialet generelt ikke er spesielt fattig (Prestvold 1999:37, 77-81; Stenvik 1994:192). I perioden finner man tilsynelatende nye konsentrasjoner av rikdom i Trøndelag ved naturlige



---

utskipningssteder for områdene med jernutvinning (Stenvik 1996:30). I og med funnene av velutviklet jernutvinningsteknologi fra omkring 350 f. Kr. (se kapittel 3) kan vi regne med at utvinning av jern, ikke import, er bakgrunnen for jernets betydning i området i eldre jernalder.

Den generelle funnfattigdommen man snakket om tidligere (for eksempel Martens 1989:159) er ikke et entydig argument for ressursknapphet og mangel på materialer, og det øvrige arkeologiske materialet fra perioden kan tyde på at jern var mer brukt enn det man i dag kan dokumentere (se for eksempel Larsen 1986:42-43; Pilø 1991:55, 58-61; Solberg 2003:46-47). Når bruken av jern ikke er godt dokumentert, trenger vi grunnleggende kunnskap om tilgangen til jern, det vil si jernutvinningsteknologien, for å begrunne teorier om jernets virkning i jernaldersamfunnene.

Hjärthner-Holdar (1993:9, 12) har vist at jernutvinning kan ha begynt allerede i bronsealderen i Sverige, noe som gjør at Solberg (2003:49) mener jernutvinning godt kan ha foregått tidligere enn hittil kjent også i Norge. Tidligere har Martens (1989:165) argumentert for at utviklingsnivået på den tidligst dokumenterte jernutvinningsteknologien i Norge kan tyde på at det finnes ennå tidligere, ukjente stadier i utviklingen. Hvis dette skulle vise seg å være tilfellet, vil man da flytte begynnelsen av jernalderen bakover til for eksempel 600 f. Kr.? En definisjon av jernalderen som en jernbrukende periode må bygge på god dokumentasjon og forståelse av jernutvinningen. Dersom man ikke har oversikt over utbredelsen, omfanget og teknologien, har man ikke noe godt grunnlag for teorier som innebærer eller forutsetter at bruk av jern har hatt en epokedannende virkning.

## **2.4 Ulike metodiske tradisjoner**

Spor etter jernutvinning utgjør i deler av landet en stor andel av det arkeologiske materialet fra jernalderen, og arkeologer og andre interesserte har allerede dokumentert og tolket jernvinningspor i Norge i flere generasjoner (Stenvik 2003 b). Metodene som er brukt for å forstå jernutvinningsteknologien kan deles i tre hovedkategorier: naturvitenskaplige undersøkelser av materialet, eksperimentell arkeologi og bruk av analogier.

---

### 2.4.1 Analogibruk

Mye arkeologisk tolkning av tidlig jernutvinningsteknologi bygger i større eller mindre grad på etnografiske og historiske analogier for å besvare de spørsmålene man ikke finner svar på i det arkeologiske materialet. Antatt analoge situasjoner eller fenomener brukes som eksempler på hva som er mulig og som forslag til tolkninger, og en arkeologisk tolkning som har analogier i etnografisk dokumentasjon anses som mer sannsynlig (Hodder 1999:46).

Den mest brukte historiske analogien i denne sammenhengen er den såkalte Evenstadprosessen, en tradisjonell teknologi for direkte reduksjon av jern som ble dokumentert, og muligens noe videreutviklet av Ole Evenstad (1999 [1790]) i Østerdalen på slutten av 1700-tallet. Randi Barndons (2001) etnoarkeologiske arbeid med jernutvinningsteknologi i Øst-Afrika er et godt eksempel på arbeider som brukes som etnografisk analogi.

Analogier er imidlertid ikke oppskrifter, og en av de viktigste lærdommene man kan ta fra etnografiske og historiske beskrivelser er at mulighetene for variasjon er svært store, og vanskelige å forutse eller forstå ut fra det fysiske materialet alene (Espelund 2008:102). Analogier krever en særlig forsiktig og kritisk bruk i forhold til så komplekse teknologiske prosesser som jernutvinning. Hvor sikre kan man være på at kildene man bruker som analogier er relevante for den bestemte teknologien man studerer? Det vil avhenge av hvor store 'huller' det er i det opprinnelige materialet og hvor godt man forstår prosessen man studerer.

En egen form for analogibruk i arkeologisk forskning på forskjellige typer teknologiske prosesser er etnoarkeologi (Barndon 2001; Gosden 2005). Etnoarkeologi skiller seg i teorien fra 'tradisjonell etnografi' ved målsetningen om å bruke dokumentasjonen til å forstå arkeologisk materiale, og ved et større fokus på materiell kultur og teknikk (Gosden 2005:95-100). Etnoarkeologi dokumenterer og kvantifiserer, i den grad det er mulig, levende praksis og prosesser som arkeologene ikke har personlig erfaring med (Barndon 2001:28-29), og er altså ikke vesensforskjellig fra etnografi eller sosialantropologisk feltarbeid.

Etnoarkeologi kan sees som aktiv konstruksjon av analogier, i og med at teorier om arkeologisk materiale prøves ut på levende samfunn i forbindelse med etnoarkeologens tilstedeværelse i konteksten (Hodder 1999:46). Det samme kan sies om eksperimentell arkeologi, og skillet mellom etnoarkeologi og eksperimentell arkeologi er ikke alltid klart.

---

## 2.4.2 Eksperimenter

En annen metode, gjerne brukt sammen med data fra antatte analogier, er eksperimentell arkeologi. Forsøk på å gjenskape og bruke utdødd teknologi er ofte foreslått som en løsning der man mangler data på forskjellige elementer i teknologien (Espelund 1997 a). I denne sammenhengen vil det si forsøk med å bygge og bruke kopier av jernutvinningsovnner for å måle forskjellige faktorer og prøve ut tolkninger av de elementene kildene ikke dekker tilstrekkelig (Englund 2002:27). Eksperimentell arkeologi kan til en viss grad etterprøve tolkningsforslagene gjennom å sammenligne materialene fra eksperimentene med de arkeologiske funnene av for eksempel jern, slag og deler av ovnene. Det krever imidlertid en grundig kritisk gjennomgang av metodene og grunnlaget for rekonstruksjonene, og nært samarbeid med kjemikere, metallurger og andre naturvitere som kan hjelpe til med analyser av materialene.

I en sammenheng som jernutvinning kan man ytterligere vurdere sannsynligheten til tolkningen eksperimentet bygger på gjennom å sammenligne de produktene og biproduktene man får med dem som skriver seg fra den opprinnelige teknologien (Englund 2002:28). Først og fremst slagget er viktig her (Espelund 2009).

Ian Hodder (1999:46-47) mener eksperimentell arkeologi også er en form for analogibruk, eksperimentet som utføres sees implisitt som analogt til prosessen man vil lære mer om. Samme type problem finnes her som med mer tradisjonell bruk av historiske og etnografiske analogier. Hvor mye av ovnen man bruker i eksperimentet er rekonstruksjon, og hvor mye er ren konstruksjon? Hvor mye av rekonstruksjonen er i virkeligheten basert på andre antatt analoge teknologier? Slike spørsmål må til en hver tid vurderes kritisk. Det har vist seg vanskelig å gjennomføre slike forsøk uten å bruke erfaring og data som stammer fra andre kilder enn de bevarte arkeologiske sporene av den spesifikke teknologien man studerer (Englund 2002:213-214). Det er derfor en viss fare for at de svarene man får fra slike forsøk ikke egentlig kan si noe nytt om jernfremstilling i Norge i eldre jernalder.

I forbindelse med trøndelagsovnene er det flere sider ved teknologien som foreløpig ikke er godt nok kjent til at forsøk på å gjenskape og bruke dem har gitt noen sikre svar på spørsmål knyttet til driften (Espelund 1997 a:12-13; 2008:172-173). Det er ikke gjort mange forsøk på jernfremstilling i rekonstruerte trøndelagsovnner (Espelund 1997 a; 2008). De forsøkene som er gjort med rekonstruksjoner av trøndelagsovnner har vært lite vellykkede, og har først og

---

fremst svekket tilliten til tolkningsforslagene forsøkene har basert seg på (Rundberget 2002:1). Man har oppdaget nye problemer gjennom forsøkene, men har ikke klart å produsere tilfredsstillende jern i forsøk med gjenskapte ovner av denne typen (Espelund 2008:132, 172-173).

Ovner fra senere perioder er til dels grundig utprøvde (for eksempel vikingtidsovner i Jakobsen m. fl. 1988), særlig i Sverige (for eksempel Englund 2002) og i Danmark (Lyngstrøm 2008:37-38; flere eksempler i Nørbach red. 1997). Jeg vil derfor kort beskrive trekk ved en grundig gjennomført eksperimentrekke (Englund 2002) og et enkeltstående eksperiment (Borup 1997) for å illustrere en del av vanskelighetene og mulighetene eksperimentell arkeologisk jernutvinning innebærer.

Englunds (2002:215) eksperimenter bygger på arkeologisk materiale fra hans egne utgravninger av en spesiell ovnstype. Over en rekke år utførte han nærmere 40 jernutvinningsforsøk i rekonstruerte ovner, hvor en rekke parametere ble endret ett og ett for å oppnå visse på forhånd fastsatte mål. Et av målene var for eksempel å danne slag som lignet det som var funnet ved utgravninger av denne typen ovner. Det ble gjort forsøk med produksjon av trekull, rensing og smiing av jern parallelt med jernutvinningen. På grunnlag av erfaringene fra forsøkene ble det også utarbeidet lister over alle momenter som viste seg å kunne ha innvirkning på jernutvinningen (Englund 2002:215-16).

På et seminar i Lejre i Danmark i 1997 bygget en gruppe arkeologistudenter en forsøksovn, som man tenkte å bruke til å lære mer om driften av den middelalderske østlandsovnen (Borup 1997), funnet blant annet på Dokkfløy (Jakobsen m. fl. 1988; Larsen 1991:41-43, 283). På grunn av en rekke avvik i forhold til den opprinnelige utformingen og driften av ovnen, alle med mulige følger for prosessen og produktet, er dette eksperimentet imidlertid godt egnet til å vise potensielle problemer med slike rekonstruksjoner. For det første brukte de andre materialer (leire, grus og halm) til å bygge sjakten enn dem i de opprinnelige ovnene, siden de som bygget innrømmet å ikke vite noe om de opprinnelige materialene (Borup 1997:98). Malmen som ble brukt i forsøket var ikke av den typen som finnes på Østlandet og ble brukt der i middelalderen (Borup 1997:98), men var skaffet fra Jylland hvor geologien, landskapet og klimaet er annerledes og har vært det siden istiden. Kullet som ble brukt var ikke av furu og bjørk, treslagene som fantes i jernvinneområdene på Østlandet i middelalderen, men av bøk og eik fra Sør-Europa. Slagget ble tappet en gang i løpet av

---

prosessen, selv om de som planla og gjennomførte eksperimentet delte den alminnelige oppfatningen at slike ovner har vært tappet for slagg flere ganger i løpet av hver brenning (Borup 1997:99). I beskrivelsen og drøftingen av dette forsøket blir det ikke diskutert på hvilket grunnlag man baserte bruken av blåsebelgene eller tilsatsene av kull og malm. Dette synes å ha vært delvis *ad hoc* og delvis inspirert av andres forsøk med andre typer ovner.

De potensielle feilkildene og problemene dette eksempelet innebærer, forekommer i varierende grad i all eksperimentell jernutvinning: råmaterialene, utformingen av ovnen og fremgangsmåten. Et slikt forsøk som det som er beskrevet over gir ingen nye opplysninger om jernfremstilling i eldre jernalder. I beste fall får man gjort det klart hvor lite man vet om fremgangsmåten og hvilke faktorer som er dårligst forstått, noe som kan sees som et positivt resultat i den forstand at det gir konkrete indikasjoner på hvilke elementer i teknologien man bør fokusere på i forskningen. Dette kan for øvrig ha vært formålet med eksperimentet over, uten at det ble uttalt i artikkelen eller i andre artikler fra samme seminar (Nørbach red. 1997).

Eksperimenter med bruk av ved som brensel (se videre drøfting i 4.2) har ikke gitt resultater som kan sammenlignes med materialet fra de opprinnelige teknologiene, sannsynligvis først og fremst på grunn av mangler i kunnskapen om fremgangsmåte og ovnenes utforming (Englund 2002; Espelund 1999:131-132; Nørbach 1997:62).

Selv om materialet på andre måter sannsynliggjør at man har brukt ved som brensel i trøndelagsovnene (se 4.2), er det inntil videre vanskelig å bevise, og uten en overbevisende rekonstruksjon av ovnstypen kan man ikke gjøre forsøk for å undersøke spørsmålet nærmere. Englunds forsøksrekke viste at rekonstruksjonene så langt det lot seg vurdere fungerte på samme måte som de opprinnelige ovnene; noe slikt kan man ikke si om rekonstruksjoner av trøndelagsovnene.

### **2.4.3 Arkeometallurgi**

En så kompleks prosess som jernutvinning kan ikke forstås ved hjelp av arkeologiske metoder alene. Dette ser vi for eksempel når vi sammenligner Ole Evenstads samtidige beskrivelse (1999 [1790]) av jernfremstilling i Østerdalen på slutten av 1700-tallet med de arkeologiske sporene etter denne prosessen. Slagg og rester av ovnene er utbredt, lite forstyrret og godt bevarte sammenlignet med eldre jernutvinningsanlegg. Det er likevel

---

umulig å gjenskape hele den prosessen som Evenstad beskrev ut fra de fysiske levningene alene, uten å følge anvisningene i kildeskriftet hans (Espelund 1997 b; 1997 c; 2008:102).

I mangel av en samtidig beskrivelse av hvordan ovnene fra eldre jernalder ble bygget og brukt er det nødvendig med kjennskap til de metallurgiske prinsipper og kjemiske og fysiske lover som ligger til grunn for prosessene i jernutvinningen. Slike naturlover er uavhengige av tid, sted og teknikk; de er universelle, og grunnstoffer og mineraler har de samme egenskapene i dag som for 2000 år siden. De vil reagere på en bestemt måte når de utsettes for en bestemt påvirkning, og naturvitenskapelige undersøkelser kan derfor ofte påvise hva slags påvirkning materialet har fått, uavhengig når det skjedde. De kjemiske og fysiske endringene materialet har gjennomgått kan i mange tilfeller kun skje under bestemte forhold, som altså må ha forekommet i teknologien, jevnfør Lemonniers (1992:22) definisjon av "*operations that cannot be replaced*" i teknologier. Dette er bakgrunnen for såkalte arkeometallurgiske tilnæringsmåter, i Norge først og fremst representert av Arne Espelund (for eksempel 1985; 1997 a; 1999; 2003), som benytter metallografiske, petrografiske, mineralogiske, kjemiske og fysiske analyser og beregninger for å lære mer om både materialer og prosesser. Denne typen forskning har lang tradisjon i Skandinavia (Stenvik 2003 b:120-123, 131) og i Europa som helhet gjennom samarbeidsprosjekter som *Comité pour la Sidérurgie Ancienne* hvor Radomír Pleiner (1989 red.) har spilt en sentral rolle.

Få arkeologer har så mye relevant naturvitenskapelig utdanning eller erfaring at de personlig kan forstå detaljene i materialet og de prosessene materialet skriver seg fra, og man vil i alle tilfeller være i større eller mindre grad avhengig av eksperter fra naturvitenskapelige fag. Det har imidlertid variert hvor nært det tverrfaglige samarbeidet har vært i Norge, da det ofte har vært avhengig av personlig interesse hos enkelte naturvitenskapelige forskere. Et permanent samarbeid kan være vanskelig å få til når arkeologisk forskning stort sett finansieres som enkeltprosjekter knyttet til utbygging.

## 2.5 Nyere satsninger

Jernutvinning som erverv og landskapsbruk har fått oppmerksomhet i forskjellige større prosjekter som er nevnt i 1.3 og 2.1 over, og det nyeste av dem er en rekke undersøkelser i forbindelse med Gråfjellprosjektet i Hedmark (Rundberget 2007). Omfanget av denne

---

undersøkelsen og metodene som ble tatt i bruk viser mulighetene jernvinneforskningen har i dag, i et område som klimatisk og geologisk sett ikke er ulikt de typiske funnstedene for trøndelagsovnene (Sigmond 1985; se videre 3.1 og 4.1). Særlig interessant er bruken av flateavdekning på og rundt jernvinneplassene (Rundberget 2007:31-32), geofysiske undersøkelser og en rekke forskjellige slags metallurgiske analyser: metallografi, petrografiske og total kjemiske analyser av slagg og malm, røntgendiffraksjon, mikrosondeanalyser, og tynnslip og termiske analyser av brent leire fra ovnene (Rundberget 2007:280-285, 323-234). En del av disse metodene ble forsøkt brukt i jernvinneforskningen i Norge første gang i forbindelse med Jan Henning Larsens (1991) utgravninger ved Dokka på slutten av 1980-tallet. I følge Larsen (1991:34) må man imidlertid se på mye av dette arbeidet som metodeutvikling, og metodene har blitt mer effektivt utnyttet i senere prosjekter.

På Gråfjellprosjektet ble det også gjort en del treartsbestemmelser, ikke bare for å kunne se nærmere på mulige problemer med <sup>14</sup>C dateringene, men også for å se hvilke treslag som var foretrukne som brensel (Rundberget 2007:309). Videre ble det gjort forsøk med dendrokronologiske dateringer av forkullet treverk, som viste seg å mulig tross tidligere motforestillinger (Rundberget 2007:309, 314-317).

En annen metode som er i ferd med å komme i bruk er såkalte total kjemiske undersøkelser av slaggspor i jerngjenstander for å kunne bestemme proveniensen til jernet (se for eksempel Lyngstrøm 2008:71; Rundberget 2007:335-337; se også 4.5 og 4.6.3). I Danmark har dette vært forsket på siden midten av 1990-tallet (Lyngstrøm 1997:31-32; 2003:22-23; Stenvik 2003 b:122-123).

Jernvinneforskningen er en del av KHMs faglige program for de nærmeste årene (Larsen 2009), som en viktig del av forståelsen av jernalderen og middelalderens kulturlandskap og økonomi. Forskning på jernutvinning blir dermed et satsningsområde for museet i Oslo, også gjennom et doktorgradsarbeide som nylig er satt i gang. Denne satsningen vil imidlertid gjelde jernutvinning som har foregått i det som er KHMs distrikt, og gevinsten for teknologier som ikke omfattes vil være indirekte, gjennom for eksempel utvikling av mer generell kunnskap og metode på dette område. Det finnes ingen tilsvarende planer for trøndelagsovnene eller prosjekter som vil berøre dem.

---

### 2.5.1 Forskningsstatus på trøndelagsovnene

Forståelsen av trøndelagsovnene som teknologi har ikke kommet videre etter å ha nådd det nivået som oppsummeres av Espelund (1999) og av Stenvik (2003 a). Distribusjon og datering er relativt godt kartlagt, men mange teknologiske spørsmål er fremdeles ubesvarte (se 4.7). Et hovedproblem er at formen på ovnsstrukturen over bakken ikke kan rekonstrueres med noen sikkerhet. De siste betydningsfulle fremskrittene ble gjort i forbindelse med jernutvinningsforsøk av Ivar Berre, som i all hovedsak kun avkreftet forslag til rekonstruksjoner (Espelund 2007:22; Rundberget 2002:69), da det ikke ble produsert noe tilfredsstillende jern eller slagg (Espelund 2008:132).

Det er ikke gjort noen større utgravninger etter 1990-tallet, og de siste undersøkelsene som ble gjort er ikke publisert (se 1.3). I sin nyeste oppdatering av *Bondejern i Norge* nevner ikke Espelund (2008) noen nyere utgravninger av anlegg med trøndelagsovner. I 1994 kunne Kristin Prestvold (1999:128) konstatere at anlegget på Myggvollen ved Fjergen øst i Meråker var det eneste som var totalgravd.



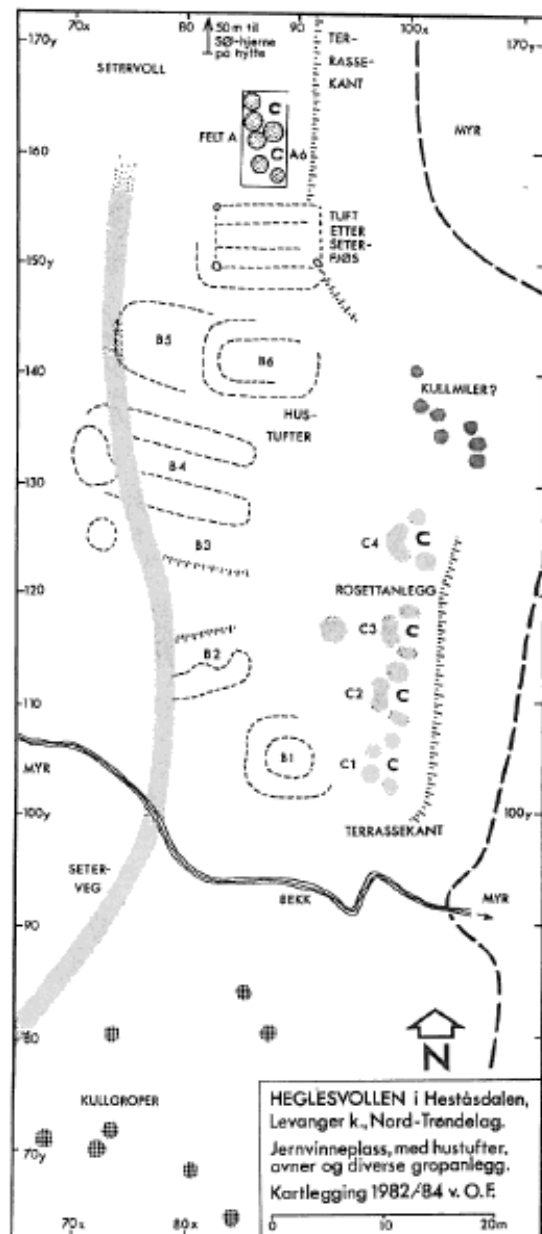
### 3. Trøndelagsovnene: arkeologisk materiale og kontekster

Det arkeologiske kildemateriale fra jernutvinningsteknologien i Trøndelag i eldre jernalder finnes utenfor områder med fast bosetning både i tidligere perioder og nyere tid, nært knyttet til skog, malmholdige myrer og godt drenerte moreneterrasser ved vann hvor man kan

plassere ovnene (se 3.1). På jernutvinningsplassene finnes det rester av ovnene, slagghvarp, stolpehull, ulike groper og nedgravninger med usikre funksjoner, og i visse tilfeller mulige hustuffer (Farbregd m. fl. 1985 b; Prestvold 1999:138).

Råvareinnsamlingen har ikke etterlatt noen spor som er synlige i dag, så man er avhengig av å finne spor av selve jernutvinningsplassene for å undersøke teknologien som trøndelagsovnene representerer. Jernutvinningsanlegg med trøndelagsovner synes i landskapet på andre måter enn spor etter andre jernutvinningsteknologier. Kull har for eksempel sannsynligvis ikke vært brukt i jernutvinningen i trøndelagsovnene (se 4.2), og distribusjonen av kullmiler kan dermed ikke brukes som kilder til jernutvinningen i Trøndelag i eldre jernalder.

Jernutvinningsteknologiene i yngre jernalder og deler av middelalder brukte trekull som brensel, noe som betyr at det ble laget store antall kullmiler som ofte relativt lett gjenfinnes i dag ved overflatiske registreringer (for eksempel Larsen 1991:35; Rundberget 2007:247).



Figur 1. Strukturer på Heglesvollen i Heståsdaalen, Levanger k., Nord-Trøndelag. (Farbregd m. fl. 1985 b).

---

Kullmilene har vært brukt som kildemateriale for å belyse mange sider ved jernutvinning, som geografisk spredning, datering, plassering i landskapet, forhold til andre ressurser og annen landskapsbruk (se for eksempel Bårdseng 2001; Johansen 1979:82). Milene brukes også for å gi en grov indikasjon på omfanget av driften (Rundberget 2007:351-353), der man ikke har anledning til for eksempel å grave ut slagghvarp for å få en idé om størrelsen. Sammenligning av råvareinnsamlingen i de ulike teknologiene som trøndelagsovnene og andre ovnstyper representerer er noe usikker når kildematerialet ikke er likeartet. Det er ikke funnet kullmiler som kan knyttes sikkert til jernutvinning med trøndelagsovner (Prestvold 1999:60), skjønt det finnes mulige kullmiler i nærheten av ovnene blant annet på Heglesvollen (Farbregd m. fl. 1985 b:72). Disse er ikke nødvendigvis knyttet til jernutvinningen.

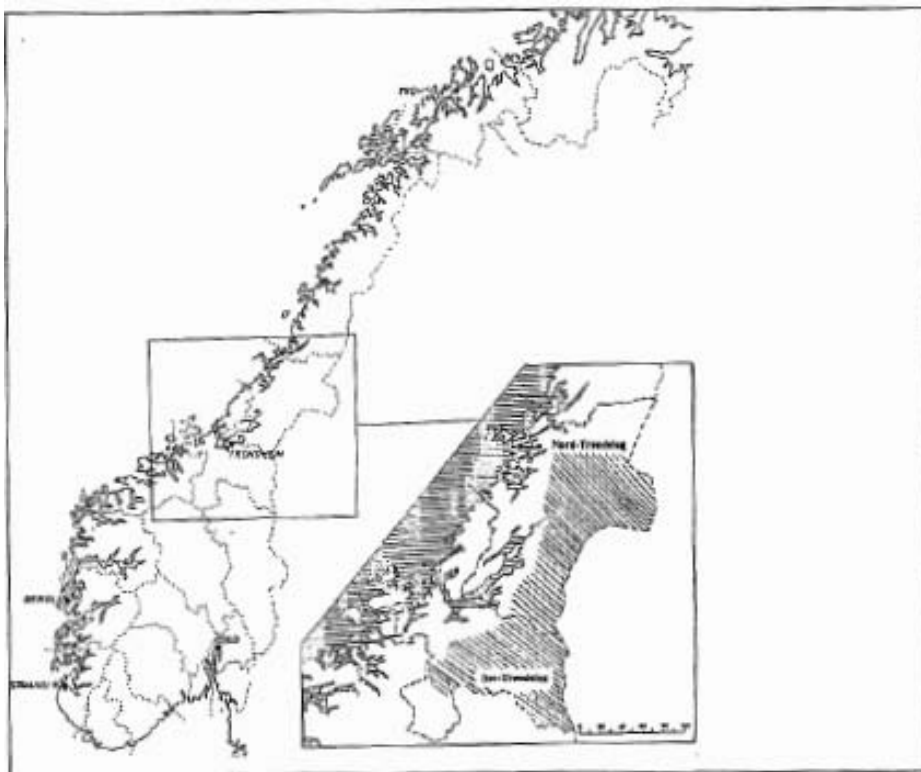
Anlegg med trøndelagsovner er funnet på forskjellige måter. Til dels har særlig interesserte privatpersoner lett etter spor i sine nærområder (Rundberget 2002:65), ellers har anleggene blitt funnet i forbindelse med systematisk registrering ved elver og vann (for eksempel ved Fjergen, Prestvold 1999:117). Ovnene kan også finnes mer eller mindre tilfeldig, for eksempel når det graves i forbindelse med bygging av hytter og lignende (for eksempel Prestvold 1999:138). Den første ovnen på Heglesvollen ble oppdaget når det skulle bygges en kopi av en jernutvinningsovn (!) (Farbregd m. fl. 1985 b:72).

### **3.1 Distribusjon, funnsteder og lokaliseringsfaktorer**

Jernutvinningsplasser hvor det har vært brukt trøndelagsovner finnes i all hovedsak i Trøndelagsfylkene, med en del funn i tilstøtende deler av Sverige, og sporadisk andre steder i Norge (Espelund 2008:86, 117, 130; Farbregd m. fl. 1985 b; Martens 1989:164; Prestvold 1999:51-52; Stenvik 2003 a:78-81; Rundberget 2002:64). Det er hittil funnet over 300 anlegg med trøndelagsovner i Norge (Espelund 2007:21; Prestvold 1999:69), tallet vil sannsynligvis fortsette å øke da distribusjonen foreløpig bærer noe preg av at enkelte områder er grundigere undersøkt enn resten (Rundberget 2002:65-66). Det svenske materialet av samme type er verken bedre bevart eller grundigere undersøkt enn det som finnes i Norge (se Englund 2002:310-315; Espelund 2008:86), og er dermed ikke spesielt interessant i forhold til en drøfting av teknologiske spørsmål. Det kan kort nevnes at Englund (2002:306, 310-315) har påpekt på grunnlag av rent formmessig sammenligning at slagghvarp

den typen som ble dannet i trøndelagsovnene finnes i store mengder i Jämtland, Norrland og mer spredt andre steder sentralt i Sverige. De største mengdene dateres der til romertid, men finnes fram til ca 550 e. Kr.

Etter at utgravningene på Heglesvollen hadde vist at man hadde å gjøre med en egen ovnstype og jernutvinningsteknologi (Farbregd m. fl. 1985 b:82-83) kunne man fort slå fast at det fantes mange spor etter typen i Trøndelag. Farbregd, Gustafson og Stenvik (1985 b:85) kunne nevne Roknesvollen, Jerpvollen, Ufredsåsen, Almlivollen, Litjådalen og Helgådalen kun et par år etter undersøkelsen på Heglesvollen, de fleste av disse lokalitetene var knyttet til store myrområder sørøst i Nord-Trøndelag. Lokalteter som var undersøkt litt mer summarisk tidligere viste seg også å kunne knyttes til denne teknologien, for eksempel Sul i Verdalen, Hoset i Stjørdal og Navlus i Snåsa (Farbregd m. fl. 1985 b:72-73). Espelund (2007:21) nevner en rekke anlegg han har vært med på å undersøke etter Heglesvollen: Vårhussetra, Storbekken, Østrungen, og Myggvollen.



Figur 2.

Utbredelsen av jernutvinning i Trøndelagsfylkene. Tettheten av anlegg fra eldre jernalder er størst i områdene rett øst for Trondhjemsfjorden (Prestvold 1999).

I forhold til senere bruk av landskapet har jernutvinningsplassene som er dokumentert vært lagt til perifere områder, utenfor områder med jordbruk og permanent bosetning. Det er imidlertid mulig at dette bildet ikke er helt representativt nettopp fordi anleggene vi kjenner er funnet i områder

---

med liten grad av inngrep i landskapet i senere tid, og spor etter tidlig jernutvinning i mer sentrale områder kan ha blitt ødelagt allerede i løpet av jernalderen.

Kristin Prestvold (1999:52) påpeker et interessant trekk ved spredningen i forhold til den kjente bebyggelsen i perioden, nemlig at bosetningen er under den marine grensen (se også Sulebak 2007:288), mens jernutvinningsanleggene ligger høyere enn dette. Den marine grensen skiller grovt sett mellom lett drenerte glasialt avsatte usorterte morenemasser, og godt sorterte sedimenter som er avsatt under vann, med andre ord større leireavsetninger (Sulebak 2007:344-347). Dette kan bety at plasseringen av bosetning og jernutvinning var bestemt av lokale geologiske og naturgeografiske forhold, og representativiteten til jernvinneplassene vi finner vil i så fall være styrket i og med at sannsynligheten for at betydelige antall eldre anlegg er ødelagt av senere aktivitet da vil være mindre. Det er også verdt å merke seg at selve malmdannelsen er avhengig av et visst forhold mellom permeable moreneavsetninger og myr, da leirmasser ikke gjennomstrømmes av vann i slik grad at det vil vaskes ut tilstrekkelig med jern-ioner som kan felles ut igjen senere som malm (se videre 4.1).

Forholdet mellom jernutvinningsplasser, skogens utbredelse i perioden og malmhaldige myrer er ikke kartlagt i noen særlig detalj i Trøndelag (se 3.1). Generelt ligger anleggene i nærheten av myrområder (Espelund 2008:147-148; Rundberget 2002:66), uten at det er undersøkt om det er større malmforkomster eller gode forhold for utfelling av myrmalm i de nærmeste myrene.

Topografisk kjennetegnes anleggene ved at flere ovner er plassert på en flat terrasse i terrenget, på rekke langs kanten av terrassen (Farbregd m. fl. 1985 b; Prestvold 1999:38). Nederst i skråningen under terrassen er det vann, vanligvis en bekk eller liten elv. I periodene etter at trøndelagsovnene gikk ut av bruk har det ofte blitt anlagt setrer på eller nær plassene der anleggene var, og mange av lokalitetene som nevnes i litteraturen har navn som for eksempel slutter på -vollen, -moen, -setra, -bakken (Espelund 2008:129).

Pollenundersøkelser ved Heglesvollen og Myggvollen ved Øst-Fjergen har vist indikasjoner på beite i disse områdene fra den perioden jernutvinningen opphørte (Espelund 2008:130).

Anleggenes typiske plassering på terrassekanter ved vann kan delvis være et spørsmål om representativiteten til de anleggene som er funnet, i den forstand at mange av ovnene er

---

funnet i forbindelse med vannkraftutbygging. Som nevnt er de også ofte funnet på setervoller, hvor det kan tenkes at bruken av området har gjort at anleggene er mer synlige.

## **3.2 Strukturer og materiale på jernutvinningsplassene**

På jernutvinningsplasser med trøndelagsovner finnes det vanligvis 3-5 ovner (opp til 8 er registrert på ett anlegg), som sannsynligvis har vært bygget og brukt samtidig (Espelund 2007:21; Espelund og Stenvik 1993:124, 132; Prestvold 1999:38-39; Stenvik 1996:29). I de fleste tilfeller har hver ovn et sett med groper rundt seg (se for eksempel Farbregd m. fl. 1985 b; Prestvold 1999:46). Slaggvarp finnes i skråningen nedenfor ovnene, og inneholder større og mindre stykker av slaggblokker, jord, stein og fragmenter av pipemurene av brent leire.

### **3.2.1 Ovnene**

Ovnstypen som vi i dag kaller trøndelagsovner bestod av en sjakt omgitt av en pipe av leire, med en slagdrop under bakkenivå. Denne grunntypen finnes i samme periode i forskjellige utforminger flere steder i Europa (Englund 2002:252-257; se også 2.2), men trøndelagsovnene skiller seg på en del vesentlige punkter fra de ovnene som er kjent fra senere perioder eller andre områder. Sammenlignet med andre ovner fra eldre jernalder er den uvanlig i og med at slagdropen er murt opp med stein innvendig med en åpning i ene siden, slik at de bevarte delene av strukturen har form som en hestesko når de avdekkes (Espelund 1989:172; Prestvold 1999:40). Over denne åpningen kan det opprinnelig ha vært en slags bro eller bue (Prestvold 1999:132; Rundberget 2002:71) som har gjort at sjakten over gropen har hatt et fundament å stå på hele veien rundt. Ovnene skiller seg dessuten fra andre ovnstyper i Norge ved at de vanligvis som en del av en større, planmessig anlagt jernutvinningsplass hvor flere ovner har vært i drift samtidig (se under).

I slike ovner foregår alle prosessene i sjakten: utvikling av gasser og varme ved forbrenning, reduksjon av oksider i malmen ved reaksjon med gassene, smelting av slagget og såkalt sintring av metallpartiklene til en sammenhengende masse (Espelund 1985). Sjaktene i disse ovnene var bygget opp over bakken av leire, sannsynligvis med noe stein. Høyde og nøyaktig utforming av sjaktene til trøndelagsovnene er ikke mulig å avgjøre nøyaktig ut fra funnmaterialet. Det er to hovedtolkninger av formen, og ingen av dem kan bevises sikkert.

---

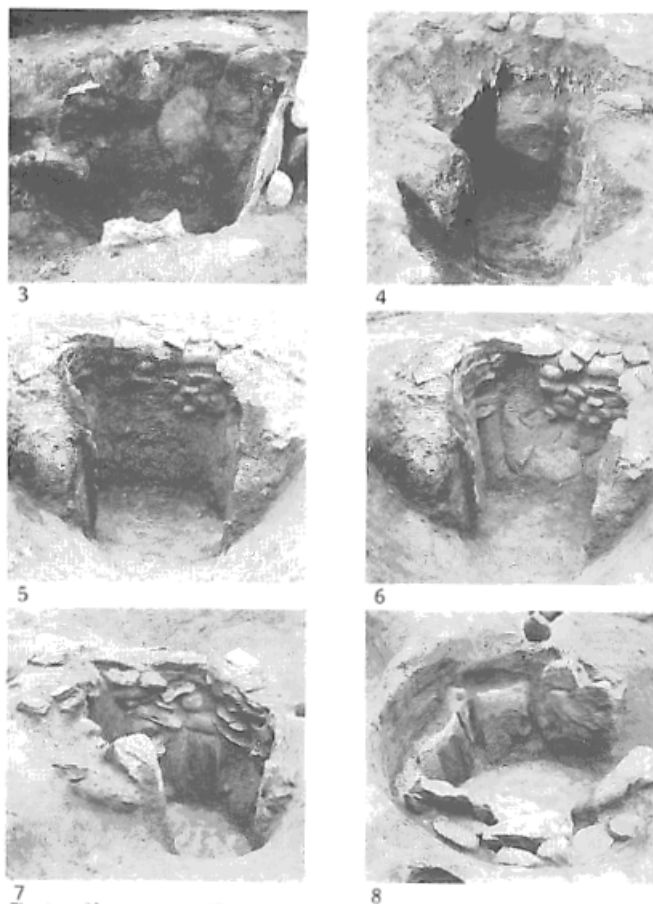
Formen på pipemuren til trøndelagsovnene er i forskjellige tolkninger beskrevet som kjegleformet, med mindre omkrets øverst enn nederst (for eksempel Espelund 1989:179), eller som traktformet (altså motsatt) med en ubestemt støttestruktur rundt (for eksempel Rundberget 2002:70; Stenvik 2003 b:124). Begge disse tolkningsretningene bygger først og fremst på formene til bedre kjente ovner, henholdsvis ovner av Snorruptypen (se 2.2) og senere ovner lik den som beskrives av Evenstad (1999 [1790]). Materialet fra trøndelagsovnene er i virkeligheten så fragmentert at det ikke lar seg avgjøre noe nærmere hvordan formen har vært (se 3.4).

Dersom vi antar at trøndelagsovnene ble fyrt med ved, slik materialet synes å peke mot (se 4.2), kan den traktformede tolkningen ha en slags støtte i historisk dokumenterte teknologier med traktformede ovner for direkte reduksjon. Ovnstypen Evenstad (1999 [1790]) og andre på hans tid beskrev var generelt ansett som lite egnet for fyring med trekull (Englund 2002:242). Det er imidlertid verdt å merke seg at andre viktige trekk ved teknologiene skiller disse ovnene fra trøndelagsovnene: de hadde ikke noen slaggrøp, og ble drevet med blåsebelger (se for eksempel Evenstad 1999:65 [1790]; videre drøfting av lufttilførselen til trøndelagsovnene i 4.4.1).

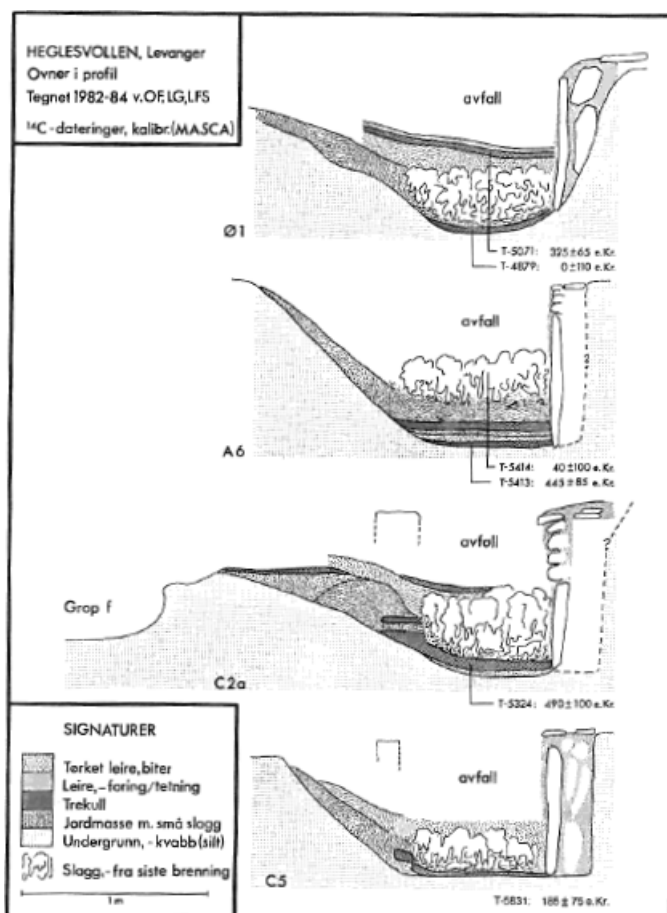
I alle tilfelle må en sjakt være åpen øverst for å fylle brensel og malm og slippe ut gass. Luft må ha kommet inn lengre ned gjennom en eller flere åpninger i pipemuren, og ble sannsynligvis tilført ved hjelp av naturlig trekk som en følge av konveksjonsstrømmene i luften når det brant i sjakten (se 4.4.1). Størrelse, form og antall på luftinntakene er ikke sikkert dokumentert, man har kun funnet ett stykke av en pipemur som viser det som sannsynligvis er omtrent halvparten av en åpning for luftinntak (Espelund 2008:131). Det at luftinntakene er såpass dårlig belagt har ført til tolkninger hvor luft ble tatt inn gjennom en enkelt større åpning, for eksempel gjennom den åpne siden av slaggrøpen (Espelund 2008:117) Man kan imidlertid med en viss sikkerhet regne med at det har vært flere luftinntak som har vært jevnt fordelt rundt ovnen i og med at funn av hele slaggblokker in situ i slaggrøper viser at slagget har smeltet og rent ned jevnt rundt hele ovnen (Espelund 2008:131).

Høyde på sjakten har ikke vært mulig å fastslå sikkert ut fra materialet, men et grovt overslag kan muligens baseres på sjaktmateriale fra Myggvollen (Prestvold 1999:44-46). Der ble det funnet 67 kilo sjaktmateriale i nær stratigrafisk forbindelse med toppen av en slaggrøp. Hvis

man forutsetter at ovnen har vært omtrent 0,8 meter i diameter, en meter høy og sylindrisk gir det en sjakt med omtrent 2.5 meter overflate, hvilket vil si at et stykke sjaktmur på 10 ganger 10 centimeter vil veie 270 gram i gjennomsnitt. Hvorvidt det kunne regnes som kraftig gods egnet til pipemur eller ikke er vanskelig å si uten spesifikke undersøkelser av egenskapene til leiren som ble brukt og sammenligningsgrunnlag fra andre ovner med piper av leire. Man må også ta i betraktning at dette har vært gjenbrukbare strukturer som skulle tåle noe mer enn sjaktene fra andre teknologier, og at verken form eller høyde er sikker (Espelund 2008:146).



Figur 3. Slaggrøper på Heglesvollen (Farbregd m. fl. 1985 b).



Sjakten var også åpen i bunnen, ned i en grop under bakkenivå. Gropen var en ordning for å skille slagget fra metallet, men har også hatt den bivirkningen at den isolerer prosessene i sjakten fra fukt og kulde i bakken. Gropen under sjakten tok imot slagget når det smeltet og rant ned fra områdene i sjakten med sterkest varme, og slaggblokken ble ofte værende der når ovnen ble forlatt (se 3.2.4).

Figur 4. Snitt gjennom ovnsgrøper på Heglesvollen (Farbregd m. fl. 1985 b).

---

I trøndelagsovnene er gropen gravd ned i bakken, bygget opp innvendig med steinmur og eventuelt leirforing, og har en nedgravd åpning i en side for å ta ut slagg (Prestvold 1999:39-40). En slik åpning i en side av slagggropen finnes også ved enkelte andre ovnstyper, som skiller seg fra trøndelagsovnene på andre måter (Englund 2002:252-257). Gropen under sjakten har en typisk diameter på 0,7 til 0,9 meter, dybde på 0,7 til 1 meter, og der slagg finnes *in situ* i gropen varierer vekten mellom 20 og 160 kilo, men er vanligvis litt under 150 kg (Espelund 1989:185; Prestvold 1999:39).

### 3.2.2 Rosettene: groper anlagt rundt ovnene

De karakteristiske gropene som vanligvis omgir hver enkelt ovn i et regelmessig mønster har ført til at anleggene ofte kalles rosettanlegg. Disse har tilsynelatende hatt bestemte formål og vært regnet som nødvendige, i og med at de går igjen i mer eller mindre samme mønster ved de fleste anleggene, og ikke overlapper eller skjærer inn i hverandre selv om flere ovner er plassert på rekke. Hver ovn med tilhørende groper er klart skilt fra de andre ovnene på samme sted.

Gropene er ujevne, men tilnærmet ovale i plan, mellom 1 og 2,4 meter i diameter og mellom 0,1 og 1 meter dype og ligger mellom 0,6 og 0,8 meter fra ovnen (Espelund 1989; Farbregd m. fl. 1985 b:77-79; Prestvold 1999:46).



Figur 5.

Ovn med tilhørende groper formgravd på Heglesvollen (Farbregd m. fl. 1985 b).

Ikke alle ovner har rosetter (se for eksempel Farbregd m. fl. 1985 b:93). Hovedvariantene



---

synes å være 4 eller 5 groper; rosettene har ellers mellom 3 og 7 groper plassert rundt ovnen (Prestvold 1999:46).

### **3.2.3 Andre strukturer på jernutvinningsplassene**

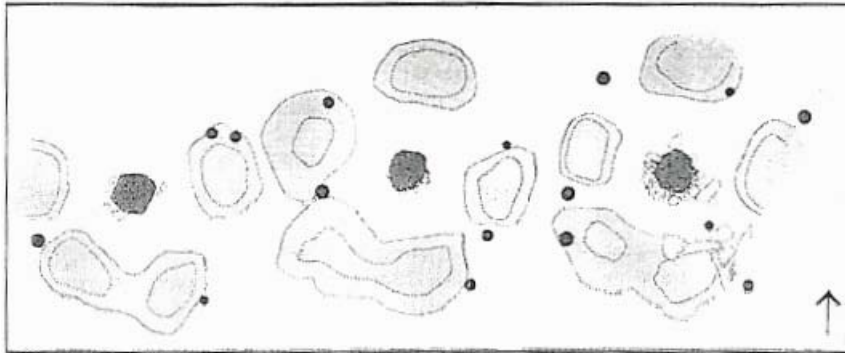
På jernutvinningsplasser med trøndelagsovner finnes det en samling forskjellige strukturer, utover en enkelt ovn med slagghaug. Det er vanlig at hvert anlegg har flere ovner som tilsynelatende har vært i drift samtidig, samt forskjellige strukturer rundt eller ved ovnene som groper, stolpehull og noen få tufter (Farbregd m. fl. 1985 b; Prestvold 1999). Selv om dateringene ikke er helt klare, har man i alle fall ett eksempel fra Heglesvollen på at en tilsynelatende enkeltstående ovn er eldre enn det senere større anlegget på samme plass (Farbregd m. fl. 1985 a:118).

Lars Fredrik Stenvik (2003 a:78) tror på grunnlag av stolpehull som er funnet rundt ovnene (se for eksempel Prestvold 1999:47-48) at det kan ha vært en form for stillas rundt pipene. Forslaget om en slags arbeidsplattform for dem som fylte på brensel og malm, er tidligere presentert av Kristin Prestvold (1999:48-49), og er benyttet i rekonstruksjoner av Ivar Berre (Stenvik 1996:29). Selv tviler jeg på denne tolkningen, da det vil ha vært farlig og svært ubehagelig å ha hodet høyere over pipemunningen enn strengt nødvendig; forsøk med eksperimentell jernutvinning har om ikke annet vist er at det kan stå store flammer høyt opp av slike sjakter (Espelund 2008:132). Gropene som er kjennetegnende for denne ovnstypen blir heller ikke lettere å forstå hvis man forutsetter at de har vært under en slik arbeidsplattform.

Ikke minst er det vanskelig å se noe stort behov for en slik arbeidsplattform, særlig rundt hele ovnen, slik den har vært foreslått rekonstruert. Diameteren på ovnen har ikke vært så stor at en eventuell arbeidsplattform måtte gå rundt hele. Høyden på sjakten er ikke godt dokumentert, men med en høyde på for eksempel en meter eller til og med halvannen meter ville en slik plattform ikke være nødvendig. Ingen tolkninger av materialet har hittil foreslått høyere sjakter enn at man kunne fylle ovnene og se innsiden når man stod ved siden av den på bakkenivå. Hva slags formål stolpene kan ha tjent er ikke klart, men i tråd med den generelle antagelsen om at ovnene har vært bygget for å brukes mange ganger vil jeg foreslå at stolpene kanskje har båret en form for beskyttelse mot været i perioder der ovnene ikke var i bruk. Plasseringen av stolpehullene på eksempelet viser hvor uregelmessige de er i størrelse

---

og plassering, noe jeg også mener taler imot at de har vært bærende elementer i en arbeidsplattform. Ved utgravninger av en annen ovnstype fra eldre jernalder ved Dokkfløyvann fant Jan Henning Larsen (for eksempel 1991:53) regelmessige spor etter fire 'hjørnestolper' ved hver ovn der bevaringsforholdene var gode. I den grad stolpehullene ved trøndelagsovnene danner noe mønster er det ikke like lettfattelig og konsekvent.



Figur 6. Stolpehull i forbindelse med jernutvinningsanlegg på Myggvollen (Prestvold 1999).

Ved anlegget på Heglesvollen ble det funnet tufter, i utgangspunktet tolket som hus for arbeidslaget som må ha vært bosatt på stedet periodevis (Farbregd m. fl. 1985 b:72, 72; Stenvik 1996:29; 2003 a:78). Slike tufter er også funnet på Tovmoen i Budalen (Espelund 2007:22), på Jerpvollen og muligens på Roknesvollen og Kløftin (Farbregd m. fl. 1985 b:85). Det er imidlertid få gjenstandsfunn eller noe annet som kunne si mer om dem som drev ovnene og deres opphold på stedet, og ingen ting tyder på at man har gjort annet enn å utvinne jern der (Prestvold 1999:50-51). Mangelen på gjenstandsfunn og ildsteder i husene har ført til en viss skepsis i forhold til boligtolkningene (Espelund 2007:22).

### 3.2.4 Slagget fra trøndelagsovnene

Slagget har samlet seg i gropen under driften av ovnen og blitt fjernet derfra gjennom en åpning i den ene siden når prosessen er over. Slagget har deretter blitt deponert nedover skråningene under terrassen ovnen står på, og har dermed ikke bygd opp noen egentlig slagghaug som ligner dem man finner på flatmark ved andre ovnstyper (Prestvold 1999:48). Slaggvarpene ved trøndelagsovnene er dermed noe vanskelige å avgrense uten at hele varpet avdekkes, og størrelsen lar seg vanskelig anslå før utgravning (Farbregd m. fl. 1985 b:84-85; Prestvold 1999:119). Slaggvarpene som er undersøkt inneholder gjennomgående flere titalls

---

tonn slagg (Espelund 2008:149; Prestvold 1999:48-49), for eksempel nesten 100 tonn nedenfor fire ovner på Heglesvollen (Espelund 2007:22).

Slagget fra trøndelagsovnene skiller seg fra andre slaggtyper som finnes i Norge på en rekke områder (Espelund 2008:110-111). Slaggblokker fra trøndelagsovnene som er bevart i sin helhet er mindre enn dem fra østlandsovnene fra omtrent samme periode (se 2.2), men større enn slagg fra senere teknologier. Slaggblokkene fra ovner av Snoruptypen (se 2.2) kan veie rundt 200 kg, men finnes en og en i slagggropene hvor de ble dannet (Englund 2002:257; Stenvik 2003 b:127) og kan dermed ikke forveksles med slagg fra de andre ovnstypene i Norge i denne perioden. Senere ovnstyper ble bygget og anlagt slik at man kunne tappe slagget ut av ovnen underveis i prosessen mens det ennå var flytende (Espelund 2008:134). Disse gir andre arkeologiske spor enn ovnene fra eldre jernalder da de ikke har noen grop og slagget får andre former og strukturer når det størkner utenfor ovnen.

Slagg fra trøndelagsovner har avtrykk av vedskier som har vært lagt nede i slagggropen (Espelund 2008:124-125). Dette er sannsynligvis ikke spor av brenselet, men rester av en slags pakning eller plattform som har holdt malm og brensel oppe i sjakten over gropen mens reduksjonen pågikk. Halm og annet plantemateriale har vært brukt på denne måten i ovner med slagggrop andre steder i Skandinavia og Nord-Europa (Hambro Mikkelsen 2003:43-47; 1997:63; Karbowiczek m. fl. 2009:46 Navasaitis m. fl. 2003:90, 93; de Rijk 1997:127). Når slagget smeltet rant det ned gjennom denne pakningen og størknet i gropen. I trøndelagsovnene har slagget i løpet av denne prosessen ofte fått karakteristiske riller eller skiktninger på de vertikale flatene (Espelund 2008:110-111, 124-125), noe som kan vise til spesielle trekk ved denne teknologien i forhold til andre jernutvinningsteknologier (se 4.5).

Slaggblokkene fra trøndelagsovnene bærer videre preg av å ha vært en homogen flytende masse, uten noen særlig 'sekundær' lokal reduksjon av jernoksidene etter at de har gått over i slagget (Espelund 2008:110-111, 129), noe som skiller denne ovnstypen fra østlandsovnene fra eldre jernalder og senere ovner av Evenstadtypen. Slaggets verdi som kilde til kunnskap om forskjellige sider ved jernutvinningen blir drøftet mer inngående under (se 4.5).

---

### 3.3 Datering av trøndelagsovnene

Det er viktig å ha pålitelige dateringer for å kunne bruke kunnskapen om jernutvinningen i en større tolkningssammenheng. Det er ofte vanskelig å datere eldre jernvinneanlegg, da det sjelden finnes daterbare gjenstander. Jernutvinningsanlegg med trøndelagsovner er først og fremst datert ved hjelp av  $^{14}\text{C}$ -analyser av trekull funnet i ovner, slagg og slagghauger. Disse dateringene spenner fra cirka 350 f. Kr. over hele eldre jernalder og opp til omkring 500 e. Kr., fra førromersk jernalder til folkevandringstid og til dels merovingertid/vendeltid (Prestvold 1999:53). Avhengigheten av  $^{14}\text{C}$ -analyser er ikke helt uten problemer, noe som drøftes videre under.

Det er vanskelig å datere de eldre jernvinneanleggene gjennom rene arkeologiske dateringsmetoder, for eksempel typologi og stratigrafi. Anleggene er stort sett uten gjenstandsfunn som kan tidfestes i seg selv. En totalutgravning av et anlegg med trøndelagsovner i Øst-Fjergen gav for eksempel ni bryner som eneste gjenstandsfunn (Prestvold 1999:141). Dette gjelder ikke bare Trøndelag, i en beskrivelse av jernutvinningen fra eldre jernalder på Dokkfløy refererer Jan Henning Larsen bare til en spydspiss som antagelig er fra eldre romertid, funnet i et avfallslag ved et av anleggene (Larsen 2003:93). Lars-Erik Englund (2002:33) nevner også mangel på funn utover slagg og ovnsrester som et problem med datering i tilsvarende undersøkelser i Sverige.

Stratigrafien på de enkelte plassene viser at anleggene har vært i bruk en sammenhengende periode, og siden ligget urørte (for eksempel Prestvold 1999:50); hvor lenge er vanskelig å avgjøre når det ikke forekommer spor etter senere aktivitet på samme sted. Typologi og studier av form gir ingen nøyaktig datering i seg selv, trøndelagsovnene ser ut til å ha vært uendret i form i hele bruksperioden (Espelund 2007:22; Prestvold 1999:95). Typologisk datering er i utgangspunktet vanskelig på grunn av uklare klassifiseringer av ovnstyper generelt, som på grunn av bevaringsforholdene ikke kan beskrives i alle detaljer (se 2.2).

Jernvinneanlegg fra eldre jernalder synes å ha vært spesialiserte i den grad at man ikke finner spor av annen virksomhet på plassene. Anleggene ligger heller ikke i noen nær forbindelse med andre strukturer som er enklere å datere. De er plassert atskilt fra andre aktiviteter, så det er vanskelig å knytte dem sammen med for eksempel bosetning, gravsteder, jordbruk eller annen næringsvirksomhet som kunne satt daterbare spor etter seg. Det er likevel gjort

---

flere forsøk på å knytte jernutvinningen til andre fenomener som viser seg i samme større tidsrom, som endringer i materiell kultur, bosetning, bygdeborger og så videre (se for eksempel Farbregd med flere 1985 a:122-124; Prestvold 1999; Stenvik 1991 og 1994).

Det er altså ingen gode muligheter for å datere ovnene særlig nøyaktig eller pålitelig med rent arkeologiske metoder. Dateringer av all jernutvinning fra eldre jernalder har derfor i stor grad basert seg på  $^{14}\text{C}$  metoden (Espelund 2008:165; Prestvold 1999:53-58; Stenvik 2003 a). De første  $^{14}\text{C}$  dateringene av trøndelagsovnene pekte mot de første århundrene e. Kr., noe som den gang virket overraskende da ovnene til å begynne med var antatt å være fra vikingtid eller middelalder på grunnlag av en noe uklar idé om at tidlig teknologi burde være mer 'primitiv' (Farbregd m. fl. 1985 b:73; Prestvold 1999:50).

Det er imidlertid knyttet en del problemer til materialet som blir brukt til  $^{14}\text{C}$ -analyser (eksempler i Larsen 2003:89, 93; Prestvold 1999:56-57). Det er i nesten alle tilfeller trekull, og stort sett av furu. Dette gir en viss fare for 'overdreven' alder, fordi furuved i større grad enn andre treslag kan brukes som brensel en stund etter at treet dør. Der det ikke er jevnlig hogst vil døde furutrær ofte blir stående og tørke på rot, og er ideelt brensel (se 4.2). Tom Bloch-Nakkerud (1987:105-106) skriver at døde furutrær kan bli stående i flere hundre år (dessverre er det ikke spesifisert nærmere), mens et dødt bjørketre vil råtne innen ti år. I enkelte myrer kan man også finne gammel furu som er brukbar som brensel når den er tørket. Bloch-Nakkerud (1987:105-106) har funnet eksempler på at furu som er bevart i myr kan være 8000 år gammel, mens bjørk ikke bevarer like lenge i en tilstand som gjør det egnet til brensel.

Videre er det i Gråfjellundersøkelsene dokumentert at en del av trærne som ble brukt som brensel der kan ha levd i opp til 200 år før de ble felt (Rundberget 2007:311, 316-317, 321), noe som betyr at også levende trær felt kort tid før de ble brukt kan forskyve dateringene i vesentlig grad. Kjerneveden i et tre er ikke levende, og gir en eldre datering enn de ytre lagene av treet. Disse observasjonene ble gjort på jernvinneplasser fra vikingtid og middelalder i Hedemark, men man kan ikke se bort fra at det samme problemet kan gjelde det daterte materialet fra trøndelagsovnene. Lignende observasjoner ble også gjort ved undersøkelser i Setesdal (Bloch-Nakkerud 1987:105), der det også ble bemerket at furu generelt blir eldre enn bjørk.

---

Det har lenge vært kjent at karbonet i stål kan dateres direkte med  $^{14}\text{C}$  -analyse, men den vanlige fremgangsmåten har krevd flere hundre gram karbonholdig jern som blir ødelagt i prosessen (van der Merwe og Stuiver 1968). Dette har derfor ikke latt seg gjøre i noen særlig utstrekning. Med nyere metoder kan også mindre mengder karbonholdig jern analyseres, noe som har vært gjort på ubearbeidede jernklumper fra eldre jernalder funnet i Trøndelag (Espelund 1999:128-129; Stenvik 1996:50). Dersom brenselet har vært gammelt når det ble brukt, vil selvsagt også jernet få for høy alder i en  $^{14}\text{C}$  -analyse, på samme måte som trekull. Andre former for datering av jern i form av emner eller halvfabrikata er vanskelig, da de er sjeldne og stort sett er funnet i lite opplysende kontekster i denne regionen og perioden (Stenvik 1996:30). Dateringer basert på typologi av gjenstandstyper som redskaper og jernbarrer er også usikre, og å knytte gjenstandstyper av jern til bestemte jernutvinningsområder er i praksis vanskelig. Det finnes flere dateringsmetoder som kanskje kunne vært brukt på trøndelagsovnene, noe som blir tatt opp under (se 5.2).

### **3.4 Bevaringsforhold og representativitetsspørsmål**

Representativitet er i denne sammenhengen egentlig to forskjellige spørsmål. For det første, er slagget og ovnene representative, er det utvalget som er bevart og undersøkt typisk for det som fantes? For det andre, er materialet representativt for prosessen? Viser funnene alle sider ved driften og prosessen? Distribusjon og utbredelse er beslektede problemer, men ikke direkte relevante i en drøfting av teknologien; spørsmålet er i hvilken grad materialet er egnet til å beskrive ovnenes form og funksjon. Mange deler av prosessen har ikke satt spor som kan gjenfinnes 2000 år senere, som for eksempel innsamling og frakt av råstoffene.

Dårlig bevaring av pipemurene og eventuelle andre strukturer over bakken vanskeliggjør beskrivelse og klassifisering av ovnstyper, og er et problem i forhold til rekonstruksjonsforsøk og eksperimentell bruk (Englund 2002:243; Espelund 2008:172-173). Materiale fra pipemurene finnes fragmentert og spredt i slaggharpene, rundt ovnene og i innraste masser i slagghropene (Prestvold 1999:44). Av sjaktkonstruksjonen er altså lite igjen på sin opprinnelige plass, slik at den opprinnelige formen ikke lar seg beskrive med sikkerhet. Dette er hovedgrunnen til at trøndelagsovnene er vanskelige å rekonstruere i dag på tross av at det i utgangspunktet er gode bevaringsforhold der de finnes, utenfor senere tiders jordbruksområder og bosetning (Prestvold 1999:38). For eksempel er ikke

---

luftinntakene belagt, på tross av enkelte forsøk på å sette sammen igjen fragmenterte piper (Espelund 2008:117, 131; se også 3.2.1).

En enkelt, forholdsvis godt bevart sjakt fra en annen type ovn ble funnet i nærheten av Hamburg i Tyskland tidlig på 1950-tallet (Lyngstrøm 2008:34). Litt mer enn halvparten av pipemuren var mer eller mindre sammenhengende bevart, og denne sjakten har vært grunnlaget for mye av diskusjonen om sjaktformer og mange eksperimentelle arbeider (Stenvik 2003 a:79; avbildet i Bloch Nakkerud og Schaller 1979:9). Også enkelte rekonstruksjoner av trøndelagsovnene har basert seg på den delvis bevarte tyske ovnen (Rundberget 2002:69). Fra trøndelagsovnene finnes ingen tilsvarende representativ sjakt bevart. Det har vært foreslått at delene av ovnen som var synlige over bakken ble systematisk ødelagt etter bruk for å begrense utenforståendes muligheter for innsyn i teknologien (Rundberget 2002:92-95, 100).

Andre representativitetsspørsmål dreier seg om utvalget forskerne gjør. Det kan være ubevisst, som et resultat av ufullstendig forståelse av prosessen og materialene, eller helt bevisst av forskjellige grunner. For eksempel skriver Englund (2002:29) i sin bok om direkte jernfremstilling at han har utelukket slagget som finnes i museer, da det er uklart hvordan og hvorfor eksemplene som er tatt inn er valgt ut. Man kan ha grunn til å mistenke at eksemplene er plukket ut dels tilfeldig, og dels ut fra kriterier som innebærer forhåndstolkning eller en rent subjektiv vurdering av en eller flere egenskaper, for eksempel som utstillingsobjekt eller kildemateriale. Et litt annerledes eksempel får vi i Inga Sernings undersøkelser fra Dalarna, der hun beskrev utvalget av slaggetil prøver til analyse slik: det

*”förefallit mest naturligt, att [...] upmärksamma de minst skadada, stora och för platsen karaktäristiska styckena och att oftast bortse från de svårdefinierbara småslaggerna som säkerligen till stor del är fragment av de större. Dessutom har i möjligaste mån den starkt magnetiska slaggen registrerats för provtagning”* (Serning 1973:Förord).

Her er det er med andre ord helt bevisst gjort et ikke representativt utvalg av materialet. Forskingen på området har kommet et stykke lengre siden den gang, likevel er tilsvarende klare beskrivelse av retningslinjene for utvalg av slagget, malm eller ovnsfragmenter som prøvemateriale sjeldne. Det er dermed vanskelig å være sikker på hva prøvene representerer eller ikke representerer. Ytterligere representativitetsspørsmål i forbindelse med undersøkelser av slagget blir tatt opp under (se 4.5).

---

## 4. Driften av ovnene

*“When a furnace is excavated, we always find the physical remains of a construction, we never find the description of a process”* (Stenvik 2003 a:80, uthevnning i originalen). Vi kan ikke observere teknologien direkte slik en antropolog kan. Hvordan skal man kunne komme rundt dette problemet? Prosessene vi ønsker å vite mer om har opphørt for 1500 år siden. Det er imidlertid ikke et ubegrenset antall måter materialet kan ha blitt dannet på.

Materialet er ufullstendig, noe som i denne sammenhengen ikke bare er et spørsmål om representativitet. Spørsmålet dreier seg ikke bare om en gjenstand eller tilstand i seg selv, hvordan noe har sett ut eller vært, men om en prosess, hvordan gjenstander har vært brukt og virket, hvordan tilstander har oppstått og endret seg. Det som mangler er ikke bare ting eller deler av ting, men handlinger og hendelser, handlemåter og hendelsesforløp; altså noe ikkematerielt som i seg selv ikke bevarer fysisk uansett bevaringsforhold eller tidsavstand.

I forbindelse med hendelsesforløp og handlingsrekker som dem som har vært en del av jernutvinningsteknologien, blir man også tvunget inn på et vanskelig spørsmål, som til og med er vanskelig å beskrive på en klar måte; prosesser har et tidsaspekt, en varighet og et tidsrom de trenger for å finne sted. I hvor stor grad viser det arkeologiske materialet tidsbruken og fordelingen over tid av forskjellige arbeidstrinn, delprosesser og reaksjoner i jernfremstillingen? Materialet viser ikke alle trinn og deler like tydelig eller i det hele tatt. Viktige prosesser eller trinn i prosesser kan ha foregått uten å sette arkeologiske spor etter seg i en vellykket brenning. Trinn eller reaksjoner med stor betydning for utfallet kan være usynlige i det arkeologiske materialet, da de er mellomstadier og midlertidige tilstander (Ploquin med flere 2003:122-123). De sporene vi finner av ovner og anlegg i dag er bare rester av den avsluttede prosessen, ikke representative bilder av alle stadiene (Espelund 2004:65). Eksempler på deler av teknologien som ikke er dokumentert er innsamlingen og forbehandlingen av råvarene, og selve reduksjonsstadiet i brenningen (se 4.4).

For å fremstille jern ved en direkte prosess må man gjennom visse trinn; det er visse ledd i lenken som er nødvendige uansett tid, sted eller metode. For det første må man skaffe malm, brensel og byggematerialer til ovnen og samle dette på et hensiktsmessig sted. Malmen må tørkes, renses og røstes før reduksjon i ovnen (se 4.1 og 4.4). Ovnen og eventuelle tilhørende

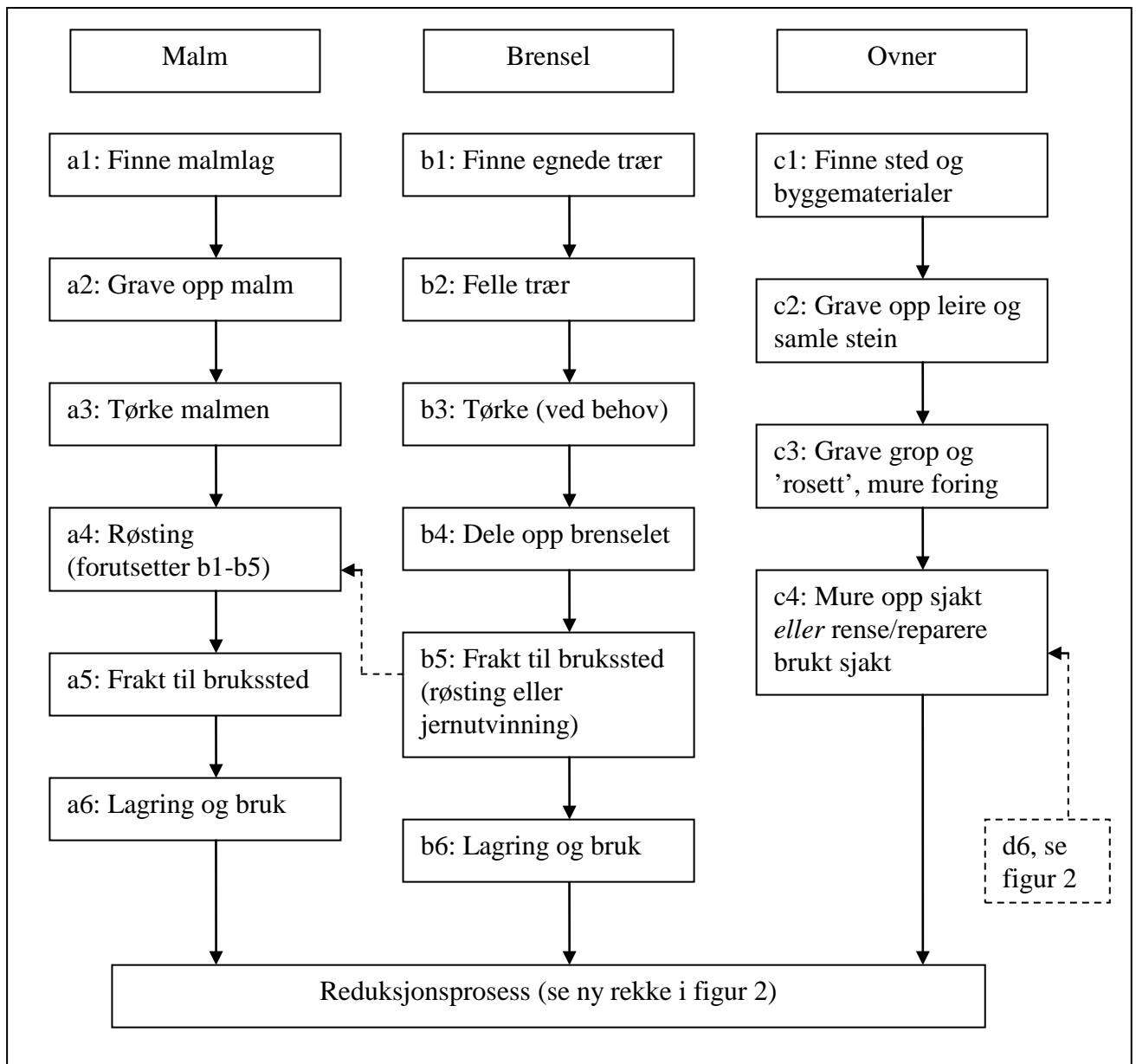


---

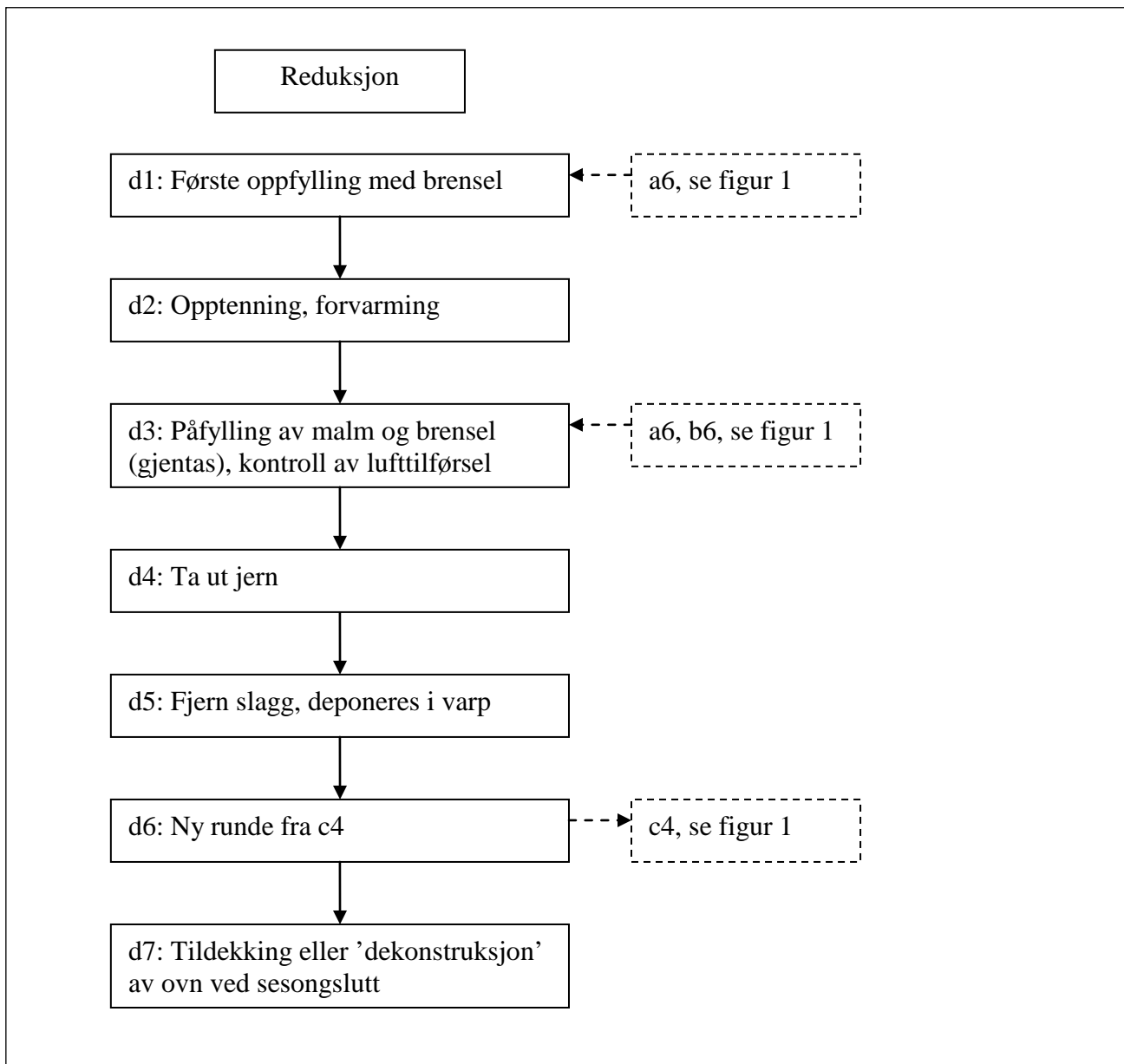
strukturer må bygges. Selv om gjenbruk i forskjellig grad var det vanlige må vi forutsette at i det minste en del av dem som arbeidet med jernutvinningen har visst hvordan man bygde ovnene og hvorfor de var laget som de var. I Figur 7 og Figur 8 er det gjort et forsøk på en skjematisk fremstilling av de grunnleggende trinnene som vi med en viss sikkerhet kan si at har vært en del av teknologien, og rekkefølgen de har hatt. Denne fremstillingsmåten er en tilpasning av Lemonniers (1992:26-35) *chaîne opératoire*-metode for å beskrive teknologi.

Formålet med den skjematiske fremstillingen er å få en oversikt over hvilke trinn vi kjenner, og hvilke trinn vi ikke kjenner men må anta at har vært nødvendige. Enkelte trinn kan kun finne sted på bestemte tidspunkter i prosessen, eller må finne sted på bestemte tidspunkter (Lemonnier 1992:21). Andre trinn eller elementer kan ikke utelates, eller tillater ingen variasjon (Lemonnier 1992:22). Det er slike uunngåelige elementer i teknologien som må utgjøre hoveddelen av skjemaet når det skal beskrive en teknologi som kun kjennes fra arkeologisk materiale. Fremstillingen kan ikke bli komplett i og med at vi ikke kan observere teknologien i bruk, men kan likevel fungere som en oversikt og en indikasjon på hvilke deler av teknologien som ikke er fullstendig forstått. Målet er at et slikt skjema skal vise hvilke trinn og elementer som nødvendigvis må ligge bak funnene, og hvilke trinn som kan ha vært en del av teknologien. Resten av kapittelet er bygget opp etter trinnene vi kan se i skjemaet.

Det er to skjemaer, som på et større ark kunne vært tegnet sammen. Det er imidlertid ikke nødvendigvis noe tap at sammenhengen brytes opp på enkelte punkter, da det ofte vil være opphold av varierende lengde i prosessene som utgjør en teknologi. Fremstillingsmåten understreker kompleksiteten i jernutvinningsteknologien. En videre bruk av en slik fremstilling vil være muligheten til å se hvilke elementer i teknologien man studerer som forutsetter eller på andre måter berører andre teknologier (Lemonnier 1992:8).



Figur 7. Merk: a3 er ikke strengt nødvendig, men vil føre til mindre bruk av brensel. Rekkefølgen på a4 og a5 er ikke nødvendigvis slik, men igjen vil det være mest effektivt å gjøre det på denne måten. Rekkefølgen på b3-b5 er heller ikke nødvendigvis som presentert her, se kapittel 4.2. Trinn c1-c3 vil kun ha vært nødvendig første gang plassen ble brukt.



Figur 8. Merk: Kontroll av lufttilførselen (under punkt d3) er en faktor som ikke er sikkert dokumentert og kan tenkes å ha involvert redskaper eller handlinger som ville utgjøre separate trinn i kjeden. En eventuell nedkjølingsfase mellom d3 og d4 kan ikke i dag dokumenteres, men dersom en det ble tatt aktive skritt for å kjøle ned ovnen og innholdet før jern og slag ble tatt ut ville det utgjøre et eget trinn i kjeden. Trinn d7 er ikke tilstrekkelig dokumentert til å beskrives nærmere, se kapittel 3.4.

Et av trinnene som ikke er dokumentert er uttaket av jernet fra ovnen ved slutten av brenningen. En viss bearbeiding skulle til for å få metallet som kom ut av ovnen til å henge sammen i en enhetlig masse med minst mulig hulrom og slagginneslutninger, og ved å gjøre det på stedet slapp man arbeidet og brenselforbruket med å varme det opp igjen senere, og

---

man unngikk å bære med seg unyttig slagg inne i metallet når man brakte det videre fra utvinningsplassene. Dette arbeidet forutsetter imidlertid at man kan få tak på jernklumper nede i sjakten, med en temperatur på opp mot 1000 grader celsius, og hensynet til denne operasjonen vil ha vært viktig når ovnen ble utformet. Alternativet ville være å vente til hele strukturen er nedkjølt, og så varme jernet opp igjen for rensingen. En slik fremgangsmåte ville bety et større forbruk av brensel, både til å varme opp jernet igjen, og til å varme ovnen igjen til neste brenning.

Det er ikke gjort noen funn av amboltsteiner i forbindelse med trøndelagsovner (Prestvold 1999:50). Litteraturen jeg har gått gjennom har ingen henvisninger til slaggundersøkelser på jernutvinningsplasser med trøndelagsovner som har funnet eller spesifikt sett etter slaggtyper som kan knyttes til bearbeiding av jernet etter at det er fjernet fra ovnen. Eksempler på slike undersøkelser i forbindelse med andre jernutvinningsteknologier finnes fra både eksperimentelt arbeid (Englund 2002:271-273; Lyngstrøm 2008) og utgravninger (Englund 2002:200, 202; Rundberget 2007:331).

## 4.1 Myrmalm

Det finnes ikke nevneverdig rent jern tilgjengelig i naturen (Rostoker og Bronson 1990:41), for å få regelmessig tilgang til brukbart jern må det fremstilles ved å skille jernet fra andre stoffer i jernholdige mineraler eller malmer. I førhistorisk tid, og enkelte steder frem til 1800-tallet, ble det i Norden brukt såkalt myrmalm, oksider som felles ut i myrer og vann under bestemte forhold. Det vi kaller myrmalm er hovedsaklig mineralet *gøthitt* (*goethite* på engelsk, *goethit* på svensk og tysk, kjemisk betegnelse  $\text{FeOOH}$ ), et jernoksid-hydroksid eller -oksi-hydroksid som dannes når jern-ioner oksideres under bestemte forhold i et fuktig miljø (Espelund 1991; Rueslåttén 1985; Rosenqvist 1988). Myrmalm kalles også av og til limonitt, som egentlig er en blanding av *gøthitt* og andre mineraler (blant annet andre jernoksider), og er altså ikke egentlig et mineral i seg selv. I tillegg til jernoksid inneholder myrmalmen en del andre stoffer som kan ha betydning for jernutvinningen, nemlig varierende mengder av silikater, mangan, fosfor og svovel (se 4.4, 4.5 og 4.6).

Myrmalm dannes i myrer under bestemte klimatiske og geologiske forhold som er vanlige i Skandinavia (Espelund 1991:39-41; Rueslåttén 1985:31-37). Klimaet her er fuktig og kjølig,

---

slik at myrer dannes, og jordartene er relativt unge, dannet etter siste istid, slik at kjemisk forvitring fremdeles foregår (Sulebak 2007:76-77, 341, 344-345). Jernholdige mineraler i morenemassene brytes ned av vann som har tatt opp humussyrer fra de øverste jordlagene, og de løste jern-ionene fraktes deretter sammen med andre metall-ioner i vannet så lenge dette er surt nok og inneholder lite oksygen. Forvitringen og transporten av ioner er spesielt stor i kjølige områder (for eksempel i fjellet) fordi humussyrene brytes ned saktere ved lave temperaturer (Rosenqvist 1988:165). Der lokale topografiske, klimatiske eller geologiske forhold gjør at pH og/eller oksygeninnholdet i vannet stiger vil jern-ionene oksideres og felles ut. Dette skjer blant annet i myrer hvor jernholdig vann kommer opp mot overflaten og møter oksiderende forhold. Myrmalmen dannes altså kontinuerlig der forholdene ligger til rette for det, og kan hentes om igjen fra samme sted etter at en viss tid har gått (Evenstad 1999:25 [1790]; Rueslåttan 1985). Når jernproduksjonen begynte for første gang hadde malmlagene imidlertid utviklet seg uforstyrret i flere tusen år, gjennom til dels større klimaendringer som kan ha medført perioder med spesielle forhold for malmdannelsen (Espelund 2004:57; 2008:160). Nøyaktig hva slags kvalitet og mengde malm som fantes forskjellige steder for 1500-2300 år siden er dermed ikke sikkert. Det kan hende at den malmen som ble brukt i de eldre direkte prosessene er oppbrukt, uten at noe helt tilsvarende er dannet til i dag (Espelund 2008:160-161). Forholdet mellom jernutvinningsplasser og malmholdige myrer er ikke kartlagt i noen særlig detalj i Trøndelag (se 3.1).

Når man har funnet malm må man ta den opp, tørke den, rense vekk mest mulig jord og lignende og deretter røste den (se 4.1.2). Disse trinnene i prosessen har ikke krevd teknologi som ikke fantes i samfunnet før man begynte med jernproduksjon. Myrmalmen er en del av teknologien som særlig godt illustrerer betydningen av kunnskap som teknologisk element. For å skaffe slik malm må man vite hva slags steder man kan finne den og hvordan den gjenkjennes. Evenstad (1999:21-26 [1790]) undersøkte og beskrev myrmalm og metoder brukt for å bedømme den, og i følge ham kan både funnstedet, malmens farve, tekstur, konsistens og smak fortelle noe om malmens egenskaper som råstoff. Evenstad viste at man uten noen form for laboratorieanalyse likevel ved hjelp av erfaring kan bedømme kvaliteten på malmen man finner, og vite hvor god malm kan finnes.

---

#### 4.1.1 Oppdagelsen av myrmalm

Å finne malm krever at man vet hva man skal se etter og hvor man kan lete. Malmen har ikke vært brukt til noe annet i Norge i perioden, unntatt muligens som farvestoff (oker). Man har altså oppsøkt myrmalm først og fremst fordi man skulle lage jern, og på et eller annet tidspunkt må man ha oppdaget at dette var mulig. Det har vært foreslått flere måter dette kan ha skjedd på.

Myrmalm er, i sammensetning og utseende, mer eller mindre lik forvitrede mineraler som finnes på overflaten av kobberforekomster som kan ha vært utnyttet i periodene før jernfremstillingen begynte. Disse forvittringsproduktene og lignende mineraler kan ha vært brukt i kobberutvinning for å hjelpe slaggdannelsen (van der Merwe 1980:466; Tylecote 1987:33-34). Stort sett vil det ikke kunne dannes noe jern i forbindelse med kobberutvinning slik den foregikk i denne perioden, fordi temperaturen og reduksjonen er for svak (Hjärthner-Holdar 1993:21). Dersom temperaturen og reduksjonen har vært uvanlig kraftig i en kobberfremstillingsprosess hvor det har vært tilsatt mye jernholdige mineraler kan man likevel i teorien ha utvunnet noe jern, delvis løst i kobberet og delvis skilt ut som jernkrystaller (van der Merwe 1980:466). Det er mulig at de som lagde kobber har eksperimentert med forskjellige forhold mellom ulike kobberholdige mineraler og andre mineraler som har vært funnet sammen med disse, eller blitt tilsatt av andre grunner. Slik kan man altså ha oppdaget at mineraler som ligner på eller er de samme som myrmalm i utseende og egenskaper, kunne reduseres til jern under visse forhold.

Derfra til det å finne myrmalm i myrer og lignende steder er det ikke nødvendigvis noe langt sprang. Torv fra myrene kan ha vært brukt til brensel og byggemateriale, og man kan finne myrmalm i eller under torven når den tas opp. Torv har også vært brukt til å dekke over kull- og tjæremiler, og dersom en slik tar fyr kan det dannes slagglignende materiale (Espelund 2008:111) som kanskje kunne gjenkjennes av en med erfaring fra metallarbeid ved høye temperaturer.

Samfunnet som tok opp denne teknologien hadde imidlertid så vidt vi vet ingen annen erfaring med metallutvinning, eller med lignende prosesser overhodet (skjønt se Melheim 2009). At man uten tidligere erfaring med metallutvinning eller –bearbeiding skulle kunne skjønne den mulige betydningen av for eksempel forslaggede stykker malm i brent torv tror jeg ikke er sannsynlig. Bruken av myrmalm bør dermed ha oppstått i samfunn som har hatt

---

tidligere erfaring med utvinning av metall. Kobber har så vidt vi vet ikke vært utvunnet i Norge på noe tidspunkt før man begynte å lage jern, men muligens har man gjort det i Sverige (Hjärthner-Holdar 1993:15, 133). I de siste årene har imidlertid flere skandinaviske forskere argumentert for at det kan ha forekommet kobberutvinning også i Norge så tidlig som neolitikum (Melheim 2009). I diskusjonene rundt dette er det fokusert mye på bryting av kobbermalm fra fjellet, men mindre på den videre utvinningen av metallet fra malmen. Foreløpig mangler utvetydige spor etter metallutvinning som er eldre enn trøndelagsovnene i Norge.

Jernutvinning begynte sannsynligvis tidligere i Sverige (Grandin og Hjärthner-Holdar 2003:33-34; Hjärthner-Holdar 1993). De materielle sporene etter de tidlige jernutvinningsteknologiene som finnes der er imidlertid ikke av akkurat samme type som trøndelagsovnene. En viss kontakt med områder som har hatt metallutvinningsteknologi har forekommet siden bronsealderen, noe det arkeologiske materialet for øvrig viser (Sherratt 1997:268-270; Solberg 2003:64-65). Akkurat hvilken form denne kontakten har hatt er ikke av vesentlig betydning i denne sammenhengen, da jernutvinningsteknologien i Midt-Norge i eldre jernalder uansett som teknologi må forstås ut fra lokale forutsetninger og forhold.

Det er foreløpig et åpent spørsmål når og hvor man begynte å bruke myrmalm som råstoff. På grunn av klima og geologi finnes ikke myrmalm overalt, og den tidligste kjente jernutvinningen i Europa, på Balkan og i Sentral-Europa, brukte bergmalmer som for eksempel hematitt (Pleiner 1980:380, 385-386, 400). De som begynte å fremstille jern i Norge må på et eller annet vis ha lært hvordan å finne og bruke myrmalm. Hvordan dette har skjedd er ikke mulig å fastslå ut fra det foreliggende arkeologiske materialet.

#### **4.1.2 Røsting**

Røsting er en varmebehandling av malmen på åpent bål før reduksjonsprosessen i ovnen, som på forskjellige måter gjør prosessen mer effektiv. Røstingen driver ut svovel og vann av malmen, både vannet som måtte finnes i sprekker og porer i malmstykkene og det som er kjemisk bundet i mineralene som såkalt krystallvann (Espelund 2008:15; Rostoker og Bronson 1990:52). Gøthitt går over til hematitt og avgir vanndamp ( $2 \text{FeOOH} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ), og blir eventuelt til jernsilikat ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) ved høyere temperatur og en viss reduksjon (Espelund 2008:32, 161, 173). Tapet av vann og endringene i mineralsammensetningen gjør

---

malmen sprøere og mer porøs slik at den lettere kan deles i små stykker og reduseres mer effektivt. Malm som er porøs og finkornet har større overflate i kontakt med gassene i ovnen i forhold til volumet, sammenlignet med grovere og mer kompakte stykker (Espelund 1985:59). Malmen varmes og reduseres dermed raskere. Reduksjon av jernmineralene kan bare skje på overflaten av stykkene, da CO-gassen som reagerer med oksygenet i oksidene ikke kan trenge inn i krystallstrukturen i mineralene (Ploquin m. fl. 2003:121). Å drive ut vannet som finnes i malmen før reduksjonen gjør også at mer av energien fra forbrenningen i ovnen kan gå til reduksjonsprosessen og smelting av slagget, slik at det kreves noe mindre plass til brensel i ovnen og noe mindre tid til hver enkelt brenning i ovnen.

Litteraturen oppgir forskjellige temperaturer som tilstrekkelige eller nødvendige for å oppnå de gunstige effektene av røstingen. For eksempel skriver Rosenqvist (1979:40) at dehydrering av malmen og omdanning av gøthitt til hematitt skjer ved 3-400 grader celsius, mens Rostoker og Bronson (1990:52-53) skriver at 600 grader er nødvendig for å drive ut svovel. I eldre jernalder har man ikke hatt muligheter til å måle temperaturer eller analysere mineralene for å forsikre seg om at røstingen har vært tilstrekkelig, men dette vil til en viss grad synes som forandringer i farge og tekstur (Evenstad 2008:29 [1790]), og man kan også ha vurdert vekttapet. Oker, som er finkornet myrmalm, forandrer farge og egenskaper ved varmebehandling, noe som har vært utnyttet i lang tid til å skaffe farvestoff i gule og rødlige nyanser (Espelund 2008:160; Tylecote 1987:22-23).

Røstingen krever ikke noe spesiell teknikk eller redskap, bare kunnskapen om hvordan det gjøres og hva virkningen er: at malmen etter slik behandling omdannes til metall og slagget fortere og med bedre utbytte av både malm, brensel og arbeidskraft. Røstingen har vært en relativt enkel operasjon, hovedutfordringen vil ha vært å finne en egnet plass hvor man hadde enkel tilgang til brensel og malm, og hvor det ville være enklest mulig å samle opp malmen igjen fra asken i bålet. Røsteplasser bør derfor ha vært jevne og tørre på overflaten.

Røsteplasser som kan knyttes til trøndelagsovnene er foreløpig ikke identifisert, og dersom det ikke er mulig å finne noen i fremtidige undersøkelser bør man vurdere hvorvidt røsting har vært strengt nødvendig i denne teknologien, eller om røstingen kan ha foregått på andre måter. Fremgangsmåten som er foreslått med et åpent bål lagt rett på bakken på et egnet sted bygger på Evenstads (1999:28-29 [1790]) beskrivelse og tolkninger av røsteplasser knyttet til andre teknologier (se for eksempel Larsen 1991:285; Rundberget 2007:23), men det finnes



---

eksempler på at røstingen har vært gjort i ovner eller at man ikke har røstet malmen (Rostoker og Bronson 1990:52-53).

## 4.2 Brensel

Det var tidligere ofte antatt at direkte jernproduksjon krevde trekull som brensel for å få høy nok temperatur til å redusere jern og smelte slagg (Gjerløff og Sørensen 1997:67; Nørbach 1997:59). På grunn av avtrykk av ved på slaggstykker (se 3.2.4) samt opplysninger i historiske kilder (for eksempel Evenstad 1999 [1790]; flere eksempler i Englund 2002) har man undersøkt eksperimentelt om det kan ha vært mulig å bruke ved i stedet for kull for å redusere malmen og smelte slagget i direkte prosesser (Englund 2002:206, 208; Gjerløff og Sørensen 1997). Både disse forsøkene og ovnene som er beskrevet i historiske kilder har imidlertid vært avhengige av bruk av blåsebelg. For trøndelagsovnene, som i motsetning til de historisk dokumenterte vedfyrte ovnstypene sannsynligvis var drevet uten blåsebelg (se 4.4.1), har det vært foreslått at en spesiell virkning ved bruk av harpiksrik furuved kan ha gitt tilstrekkelig varme. Når den blir satt til i en varm ovn kan varmen fordampe harpiksen, som så brenner raskt med høy temperatur og ved forsterkede konveksjonsstrømmer skaper undertrykk nede i sjakten, slik at farten på luften som tas inn lenger nede i sjakten øker og dermed gir sterkere forbrenning og høyere temperatur der (Espelund 2004:126; 2008:147); dette er i grunntrekk den samme virkningen som i en pipebrann. Espelund (2004:65; 2008:125) mener overflaten på en del slagg fra trøndelagsovnene viser at det har vært sykliske endringer i temperaturen i ovnen under driften, noe som kan forklares av satsvis tilsetning av slik ved med påfølgende økt trekk og temperatur.

Et vesentlig argument for at trøndelagsovnene ble fyrt med ved er fremsatt av Prestvold (1999:60), som påpeker at det er lite kullslø og ”sot” rundt ovnene. Ved ovner av østlandstypen fra eldre jernalder på Dokkfløy fant man derimot et klart trekullag rundt ovnene (Larsen 1991:278). Dette er imidlertid ikke kvantifisert, verken for disse ovnene eller for andre ovnstyper, slik at det foreløpig ikke lar seg gjøre å sammenligne trøndelagsovnene med andre typer ovner på dette grunnlaget. En undersøkelse og sammenligning av spredningsmønstrene av kullslø og kullstøv rundt ovner som med sikkerhet representerer bestemte brensler ville vært svært nyttig i denne sammenhengen. Det er mulig at det på denne måten kunne sannsynliggjøres hva slags brensel som ble brukt, et usikkerhetsmoment

---

ville imidlertid være hvordan lufttilførselen og beskikningen ville påvirke spredningen av kull og støv.

#### **4.2.1 Praktiske hensyn ved bruk av ved**

Bruk av ved i stedet for trekull kan faktisk ha vært mer økonomisk med hensyn til forbruk av skogen, på grunn av svinnet ved fremstilling og frakt av trekull (Rostoker og Bronson 1990:62-63). Å brenne veden til kull i egne miler har dessuten ført til flere arbeidsoppgaver forbundet med jernfremstillingen, og sannsynligvis mer arbeid totalt sett; dette har blant annet vært vist i forsøk med kull *vs.* ved av dansk eik (Gjerløff og Sørensen 1997:69-70), og det samme gjelder sannsynligvis for furu. Omdanning av veden til kull i selve ovnsjakten slik Evenstad (1999:44-45 [1790]) beskrev gjør at man unngår merarbeidet som følger med kullbrenning i egne miler.

Man har godt dokumenterte eksempler på bruk av ved som brensel i direkte prosesser i historisk tid (Evenstad 1999 [1790]; flere eksempler i Englund 2002:238). Det kan imidlertid ikke nødvendigvis sammenlignes med de eldre teknologiene, da prosessen Evenstad og andre i perioden beskrev forutsatte at veden ble omdannet til kull i ovnen før malmen ble satt til. Fremgangsmåten Evenstad brukte betyr at mengden ved som fikk plass i sjakten satte grenser for mengden malm som kunne reduseres i en brenning, da det ikke ble satt til mer brensel etter at ovnen var fylt ved opptenningen. Gjelder denne begrensningen på volumet til brensel og malm også for trøndelagsovnene? I ovnene fra eldre jernalder finnes det slaggmengder som basert på anslag over volumet av råvarer i forhold til det antatte sjaktvolumet må skrive seg fra mer brensel og malm enn det ovnen kunne romme på en gang (Espelund 2008:131). Foreløpig er imidlertid form og størrelse på sjaktene såpass usikre at man må slå fast at man ikke kan si hvor mye brensel og malm en ovn kunne romme.

Dersom man har brukt ved som brensel i jernutvinningen, har dette ikke krevd spesialisert teknologi i seg selv, men kunnskap om hva slags ved som gir best resultat og hvordan man finner og bearbeider denne. En viss kunnskap om forskjellige treslags egenskaper som brensel har sannsynligvis vært mer eller mindre allmenn i et samfunn der ved har vært brukt til mye, om ikke all oppvarming. Hvordan virket ble valgt ut, samlet inn og forbehandlet til bruk som brensel (tørket, hugget opp) er ikke dokumentert. Fremgangsmåten som ble brukt kan avhenge av for eksempel avstanden mellom stedet trærne ble felt og stedet brenselet ble

---

brukt, og hvordan brenselet ble transportert. I en del tilfeller kan man tenke seg at det ville være enklere å transportere hele stokker fremfor ferdig kappet ved. Avhengig av de lokale forholdene kan det også ha vært gunstigere å tørke veden et annet sted enn den ble felt, for eksempel ved røsteplassen eller jernutvinningsanlegget. Opphuggingen vil ha gitt mye flis som kanskje kunne egne seg til for eksempel opptenning eller røstebål.

Brenselet må ha vært delt i passende størrelser, og satt til ovnen på en bestemt måte for å få ideell temperatur og gassblanding i ovnen (se 4.4). Størrelsen på overflaten til brenselet vil ha følger for farten på forbrenningen og dermed varmeutviklingen. Form og størrelse på brenselstykkene påvirker også forbrenningen ved å gi varierende grad av motstand mot trekken opp gjennom sjakten (Rostoker og Bronson 1990:72). Brenselet vil også med ulik størrelse, form og overflate i varierende grad 'fange opp' malmen som blir satt til og forhindre den i å falle rett gjennom reduksjonssonen og ned i bunnen av ovnen.

#### **4.2.2 Foretrukket treslag**

Artsbestemmelser på trekull fra ovnene og jernutvinningsplassene tyder på at furu var foretrukket som brensel (se for eksempel Prestvold 1999:57-58, 142; Espelund 2008:147), selv om bjørk kan ha vært vel så lett tilgjengelig (se for eksempel pollendiagram i Solem 1985). Det er få rapporter om trekull av gran i forbindelse med trøndelagsovner, og i følge en pollenundersøkelse fra Heglesvollen var det liten spredning av gran i området når jernutvinningen der foregikk (Solem 1985:67). Prestvold (1999:143) skriver at gran spredte seg til Trøndelag omkring 200 e. Kr., altså rundt 500 år etter at trøndelagsovnene var utviklet som en del av en fungerende teknologi. Vi må derfor gå ut fra at valget først og fremst stod mellom furu og bjørk, som har utgjort størstedelen av den umiddelbart tilgjengelige skogen.

Områdene hvor den tidlige jernproduksjonen tok til har sannsynligvis vært lite hugd i eldre jernalder på grunn av avstanden til den tidens bebyggelse og jordbruk (Prestvold 1999:66-68; Solem 1985:66), og i så fall kan det ha vært mye tørrfuru, altså trær som har blitt stående og tørke ut etter at de har dødd. Evenstad (1999:40 [1790]) mente tørrfuru var det beste brenselet av slike praktiske årsaker, og det finnes ingen særlig grunn til å tro at jernalderfolk ville prioritere annerledes. Denne veden er allerede tørket, noe som gjør den lettere å transportere enn nyfelte trær, og den kan brukes som brensel med en gang. Andre treslag

---

begynner å råtne umiddelbart når de dør (se 3.3), og det er derfor bare furu som kan brukes på denne måten.

Furu har lav brennverdi eller 'kaloriinnhold' i forhold til for eksempel bjørk, en gitt mengde furuved inneholder mindre energi enn samme mengde bjørkeved (Bang-Andersen 1986:26). Man må derfor forklare bruken av furu på en eller annen måte. I tillegg til 'pipebrannteorien' kan det være andre mulige årsaker til at furu var foretrukket. For eksempel skriver Bloch-Nakkerud (1987:102) at bjørk har mer fosfor enn furu, noe som kan tenkes å ha hatt innflytelse på valget av treslag til brensel (se 4.6).

Furu kan ganske enkelt ha vært mest tilgjengelig i områdene der det ble drevet jernvinne, skjønt dette ikke er enkelt å bevise (Gjerpe 2008:96, 106). Espelund (2004:124, 126) mener å se indikasjoner på at jernutvinning ikke fantes i områder uten furuskog i eldre jernalder, men at senere teknologi som brukte trekull like gjerne fantes der det var bjørkeskog. Hva slags treslag kullet ble fremstilt av kan altså ha vært uvesentlig i senere perioder, mens jernutvinning i eldre jernalder var knyttet til furuskog. Det er imidlertid ikke helt klart at det er et så nært forhold mellom furuskog og tidlig jernutvinning, da det som nevnt ikke er helt klart hvor representativ utbredelsen til de bevarte anleggene er (se 3.1), og den lokale sammensetningen av skogen i perioden ikke er helt sikker. Videre ble det i forbindelse med jernvinneundersøkelsene på Gråfjell antydnet at furu var foretrukket som brensel selv om det ikke nødvendigvis var den enklest tilgjengelige brenselressursen (Rundberget 2007:206-207). Ovnene det er snakk om på Gråfjell er fra en senere periode, og ble fyrt med trekull. Det kunne vært nyttig å vite hva mer omfattende pollenanalyser i områdene med jernvinne vil kunne fortelle oss, skjønt man da i beregningene måtte ta hensyn til effekten eventuell lauving og lignende bruk av skogen kan ha hatt på produksjon og spredning av pollen fra løvtrærne (se for eksempel Høeg 1996:12).

En annen mulighet er at andre treslag som fantes i området kan ha vært 'beskyttet' fordi de var mer nyttige til andre formål. Bjørk, det mest tilgjengelige alternativet, kan ha vært kilde til en rekke produkter man ikke får fra furu (Gjerpe 2008:97, 105; Taylor 1981:46-48), som never til forskjellige formål, dyrefôr (lauving og lignende, Gjerpe 2008:99; Hagen 1953:343), eller til og med sevje. Rygh (1999[1885]) skriver for eksempel i *Norske Oldsaker* at tjære av never ble brukt til å tette spann av tre i perioden (eksempel R. 380), og viser dessuten eksempler på redskapstyper som kan være løvkniver (R. 144). Anders Hagen

---

(1953:313-314) nevner i en drøfting av jernalderens jordbruksredskaper at det er funnet relativt få løvkniver fra eldre jernalder, men flere redskaper kategorisert som sigder og ”små ljåer” kan være brukt til å høste fôr fra trær. Tolkningen av slike redskaper er aldri helt sikker, særlig når ingen skaft er bevart. I kjerneområdet for trøndelagsovnene er imidlertid funnmaterialet for tynt til å vurdere betydningen av ulike driftsformer (Prestvold 1999:95). Vi har dermed ikke noe videre grunnlag for å bedømme graden av uavhengighet av ytre faktorer i valget av brensel.

### **4.3 Ovnene og byggematerialene**

Ovnen er et redskap (se 1.4) som skal kunne skape en reduserende atmosfære og bestemte temperaturer. Formen på ovnen gjør at de kjemiske forholdene og temperaturen utvikler seg på en annen måte inne i sjakten enn i et åpent bål eller en enkel ’haug med brensel’. Det er tre grunner til dette. For det første foregår forbrenningen hovedsakelig nederst i sjakten, ved luftinntakene, og varmen som utvikles her stiger opp gjennom sjakten. Den varmer brenselet og malmen som beveger seg nedover mot forbrenningssonen, noe som fører til mindre varmetap og dermed større lokal varmeutvikling i denne sonen. For det andre vil pipemurens materialer redusere tapet av varme som i et åpent bål ville forsvunnet ut til sidene som varmestråling, og slik fokusere varmen innover og oppover i massen av brensel og malm. Ovnstrukturen lagrer også varme, noe som videre reduserer det totale varmetapet. Det tredje momentet er at pipemurens utforming kan bidra til å skape økt trekk fra luftinntakene og opp gjennom sjakten når det brenner, så det tilføres mer oksygen til forbrenningen slik at forbrenningen går raskere og skaper mer varme og ennå mer trekk. Denne effekten er altså til et visst punkt selvforsterkende, men begrenses blant annet av brenselets overflate og motstanden mot trekk i sjakten når den er full av brensel og malm. Disse faktorene forutsetter selvsagt at det ikke ble brukt blåsebelger (se 4.4).

Leiren og steinen som ble brukt til å bygge ovnene har også betydning for forløpet av jernutvinningsprosessen. Det er viktig at strukturen tåler temperaturene og de kjemiske forholdene som oppstår i jernutvinningen, uten å miste formen eller avgi stoffer som påvirker prosessen negativt. Dersom pipemuren som omgir sjakten begynner å sige eller smelte kan det stanse hele prosessen, enten ved at luftinntak og andre åpninger tettes, eller ved at hele sjakten kollapser (se for eksempel Rundberget 2007:335). Smeltet leire kan også blande seg

---

med malmen og slagget og påvirke prosessen på forskjellige måter (Rostoker og Bronson 1990:57-59).

Egenskapene til leiren som inngår i pipen og eventuelt i foring i gropen vil i utgangspunktet avhenge av sammensetningen, og egenskapene endres på flere måter når den utsettes for varme (Orton m. fl. 1993; Shepard 1968:20-23). Ved 550-600 grader celsius vil egenskapene være ugjenkallelig forandret, ytterligere endringer skjer ved høyere varme. Dette kan brukes for å undersøke hvor varme forskjellige deler av ovnsstrukturen har blitt under driften av ovnen (Rundberget 2007:332-333; Shepard 1968:214, 222). Det er ikke publisert noen systematiske undersøkelser av de kjemiske eller termiske egenskapene til byggematerialene i trøndelagsovnene.

Sammensetningen av slagget kan også påvirkes av enkelte bestanddeler av materialene ovnen er bygget av (von Keesmann og Kronz 2003:155, 158; Rostoker og Bronson 1990:82). Bestandigheten ovnsstrukturen hadde mot temperaturene og de kjemiske forholdene som oppstod inne i ovnen under drift avhenger dermed av sammensetningen til byggematerialene, først og fremst leiren (Shepard 1968:23, 83). På tross av at slaggets sammensetning er av vesentlig betydning for prosessen er ikke ovnsmaterialenes egenskaper undersøkt i forbindelse med trøndelagsovnene.

Kildene til byggematerialene er ikke vurdert nærmere i litteraturen. Hvor kunne man finne egnede materialer i nærheten av anleggene? En oversikt over tilgjengeligheten til byggematerialer og egenskapene til materialene som ble valgt ut kunne vært av interesse i forhold til drøftinger av bestandigheten til pipemurene, både under drift og i ettertid. For eksempel vil materialene være av betydning i forhold til behovet for vedlikehold, og hvorvidt graden av fragmentering som observeres i det arkeologiske materialet er en direkte følge av fysiske egenskaper eller en form for bevisst nedbryting av sjaktene (se 3.4).

#### **4.4 Reduksjonsforløpet**

I jernalderen i Europa foregikk all jernutvinning ved såkalte direkte prosesser (Espelund 2008:12-13). De viktigste trekkene ved denne typen prosess er at jernet ikke smelter, men reduseres fra oksid til metall i fast form, og at slagget smelter og skilles fra metallet etter reduksjonen. Jern som er utvunnet på denne måten er smibart når det kommer ut av ovnen, i

---

motsetning til jernet fra såkalte indirekte prosesser. I disse prosessene smelter jernet og tar opp så mye karbon at det må gjennom en separat rensing for å gjøre det brukbart etter det er utvunnet i ovnen (Almar-Næss 2003:367, 385-386; se videre 4.6.1).

Som Espelund (1997 a:9-12) påpeker må man løse fire grunnleggende problemer for å fremstille brukbart jern ved direkte reduksjon. I en og samme ovn og i en sammenhengende prosess skal malmen reduseres, slagget skilles fra metallet, metallet sintres til en sammenhengende masse, og man skal oppnå den ønskede legeringsgraden med for eksempel karbon eller fosfor. Reduksjon innebærer i denne sammenhengen å bryte forbindelsen mellom jern og oksygen i malmmineralet, ved at oksygenet går over i forbindelse med andre stoffer som øver en sterkere tiltrekning på det, som for eksempel karbon i fri form. Dette krever en viss temperatur og et overskudd av tilgjengelig karbon i forhold til den totale mengden oksygen som er tilgjengelig i gassblandingen i ovnen og i oksidene i malmen (Espelund 1985).

Endringene som skjer når jernoksidene omdannes til jern og gass beskrives kjemisk/fysisk som en reduksjon (Almar-Næss 2003:371, 373). Jernoksider, først og fremst  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematitt) som er dannet i røstingen, (se 4.1.2) reagerer ved høy temperatur i sjakten med karbon, først og fremst i form av gassen CO, og går over til jern og  $\text{CO}_2$  (Espelund 2008:103-105). Noe av jernoksidene går til danningen av slagget (se 4.5).

Reduksjonsprosessen i seg selv krever minst 700 grader celsius, mens slagget vanligvis vil smelte rundt 1200 grader (Rostoker og Bronson 1990:89, 91). Både reduksjon av metall og dannelse av jernsilikat, som gjør at slagget kan smelte og flyte, foregår mest effektivt i fast form under smeltetemperaturen til slagget (Ploquin m. fl. 2003:123).

Det er viktig å kunne kontrollere temperaturen i direkte prosesser slik at slagget smelter, men ikke metallet; det er dermed viktig at malmen inneholder stoffer som danner et slag som smelter og flyter ved en temperatur som er under smeltepunktet for jernet. Malmen må i en direkte prosess reduseres før den når temperaturer der den danner flytende slag, fordi jernoksidene som kan reduseres til metall også inngår som en viktig bestanddel i slagget i denne typen prosess (se 4.5). Dersom malmen blir for kraftig redusert, altså mister mye jernoksider, kan smeltepunktet bli så høyt at slagget ikke smelter og blir vanskelig å skille fra metallet. Når de først har gått over i slagget, er jernoksidene i praksis ikke lenger i kontakt

---

med de reduserende gassene i ovnen og kan vanskelig reduseres (Espelund 1997 b:123; Rostoker og Bronson 1990:90).

I praksis betyr dette at teknologien må være innrettet på en slik måte at man kan sørge for å få redusert malmen ved en lav temperatur, og deretter smeltet slagget ved en høyere temperatur. Kontroll over disse prosessene kan oppnås på to måter, enten ved å variere temperaturen i ovnen over tid fra en reduksjonsfase med lavere temperatur til en smelte- eller separasjonsfase med høyere temperatur, eller ved å sørge for at det finnes forskjellige temperatursoner i ovnen, slik at malmen kan reduseres ved lavere temperatur i den øvre delen av sjakten, før slagget smelter ved en høyere temperatur lengre ned nærmere den mest intense forbrenningen og varmeutviklingen ved luftinntakene (Espelund 2008:100-105, 131; Pleiner 1980:399). Forbrenningen av brensel og reduksjonen av malm gjør at massen i sjakten minker i volum slik at den synker nedover. Omdanningen av den porøse og findelte malmen til mer kompakt slagget og metall bidrar også til at volumet blir mindre.

Ved høyere temperatur eller større mengder karbon i forhold til malmen kunne man fått ut mer jern, men til en viss grad på bekostning av kvaliteten (Espelund 2009:51-52; Serning 1973:117, 121). Over 1300 °C mettes jernet raskt med karbon (Almar-Næss 2003:224-229), og resultatet vil når det størkner igjen være for hardt til å bearbeides i noen særlig grad (Almar-Næss 2003:233), og for sprøtt til å brukes i redskaper som skal utsettes for noe særlig mekanisk belastning. Løst karbon senker smeltepunktet til jernet (Almar-Næss 2003:225), og om det skulle gå over i flytende form vil det også bli vanskelig å skille slagget og metall. En viss andel ureduisert jernoksid i forhold til metallet er en forsikring mot at det løses for mye karbon i jernet (Espelund 2008:129).

Espelund (2008:128-129; 2009) har derfor foreslått at det ble tilsatt noen mindre mengder malm etter at reduksjonen i all hovedsak var ferdig, for å gå direkte over i slagget. Denne fremgangsmåten har han hentet fra Evenstads prosess (Espelund 1999), og formålet er at den økte andelen jernoksid i slagget skal oksidere noe av karbonet som har blitt tatt opp i jernet, og samtidig sørge for at smeltepunktet til slagget holder seg lavt. Med andre ord skal denne avslutningsvise tilsatsen av malm reversere de skadelige virkningene av en 'for effektiv' reduksjon av den øvrige malmen. I ytre trekk er imidlertid slaggene fra evenstadovnene og fra trøndelagsovnene så ulike (Espelund 2008:110), at en slik hypotese ikke kan godtas uten



---

at det er vist hvilke faktorer som har ført til disse forskjellene på tross av mulige likheter i fremgangsmåten.

Utformingen av ovnen kan påvirke reduksjonsforholdene ved for eksempel de isolerende egenskapene til ovnsmaterialene; ved plassering, retning og volum av luftinntak; sjaktens høyde; forholdet mellom volum, overflate og åpning; mulighetene for øke eller begrense tilførselen av luft og brensel. Alle disse faktorene bidrar på to forskjellige grunnleggende måter, enten ved å øke varmeutviklingen, eller ved å redusere varmetapet. Disse faktorene må også sørge for at forbrenningen er tilstrekkelig ufullstendig så den gir et overskudd av karbon i forhold til oksygen. Karbonet er tilgjengelig for reaksjoner med mineralene hovedsaklig i form av CO, og minst 1.5 ganger så mye CO som CO<sub>2</sub> må være til stede i gassblandingen for at reaksjonene skal finne sted (Rostoker og Bronson 1990:89).

Den kjemiske sammensetningen av metallet man fremstiller i en direkte prosess kan påvirkes på to måter: endringer i forholdet mellom stoffene man tilsetter i prosessen, og endringer i temperaturen. Temperaturen er avhengig av brenselets egenskaper, ovnens evne til å holde på varmen som utvikles, lufttilførselen og eventuelt motstand mot utslippet av avgasser, som påvirker lufttilførselen og varmetapet (Rostoker og Bronson 1990:71-72). Sammensetningen er også et resultat av oppholdstiden råstoffene har ved forskjellige stadier i prosessen, som igjen påvirkes av forholdene mellom stoffer og ovnsutforming (Espelund 1997 b:123).

#### **4.4.1 Lufttilførselen**

Kontroll på lufttilførselen har, gjennom å regulere forbrenningen, også vært en måte å styre tidsbruken på. En viss styring av tiden har vært nødvendig for å sikre at reaksjonene skal komme langt nok på de forskjellige stadiene (se 4.4). Større lufttilførsel har enkelt forklart økt forbrenning og dermed temperatur og fart på massen nedover i ovnen mot området med den høyeste temperaturen og de sterkest reduserende forholdene.

I historisk dokumenterte prosesser sørget man for en veksling i varmen ved å øke eller minke lufttilførselen med blåsebelger på forskjellige tidspunkter under prosessen (Evenstad 1999:45-46 [1790]; flere eksempler i Englund 2002). De fleste tolkninger av driften av trøndelagsovnene antar imidlertid at det var naturlig trekk som sørget for tilstrekkelig lufttilførsel i trøndelagsovnene, og ikke blåsebelger (se for eksempel Espelund 1989;

---

2008:131; Prestvold 1999; Rundberget 2002). Disse tolkningene bygger først og fremst på at det ikke er funnet noen spor etter bruk av blåsebelg. Englund (2002:243) mener det generelt er vanskelig å påvise bruk av blåsebelg arkeologisk, men det finnes mange slags spor som direkte eller indirekte kan vise at blåsebelger har vært brukt. Ut fra diameteren på sjakten i trøndelagsovnene sammenlignet med andre ovner kan man forutsette at eventuelle blåsebelger måtte vært store, eller mange. På grunn av den store diameteren på sjaktene må luften ha vært ført inn fra flere sider (Espelund 1989:178), noe som ved bruk av blåsebelger ville bety flere belger eller komplekse arrangementer med lange rør for å fordele luften, siden det er begrenset med plass foran og på sidene av ovnene i og med at de står på rekke på kanten av en skråning.

Spor etter blåsebelger ville for eksempel kunne være deler av belgene, munnstykker, hengsler, spiker og lignende, eller en form for fundamenter for dem (Rundberget 2007:345-346). Munnstykker i metall eller leire har vært funnet i forbindelse med andre ovnstyper (se for eksempel Rundberget 2007:239-240). Videre har bruk av blåsebelg i andre ovnstyper etterlatt spor i form av variasjoner i brenningsgraden på pipemuren som viser hvilken retning blesten har hatt (se for eksempel Englund 2002:193). Et gjenkjennelig mønster av denne typen er ikke rapportert fra undersøkelser av trøndelagsovner.

Dersom gropene rundt ovnene har vært brukt til noe mens ovnene var i drift, er det i praksis ikke plass til blåsebelgen andre steder enn bak ovnen (hvis man anser siden med åpning i slaggruppen som forsiden), og da minst to meter fra den (jvnfør beskrivelse i 3.2.2).

Arne Espelund (1989:178, 182-184) har argumentert for at det har vært flere muligheter å oppnå effektiv temperaturveksling/kontroll og tilstrekkelig varmeutvikling uten blåsebelger, for eksempel med satsvis tilsetning av furuved i ovnen under prosessen (se 4.2). Som et alternativ til temperaturøkning ved hjelp av blåsebelger foreslo Espelund (1989:184) også forvarming av luften som ble trukket inn i sjakten ved at oppvarmede steiner ble plassert foran luftinntakene. Det er imidlertid ikke ført noen bevis for at dette ville ha noen vesentlig varmende effekt på luften. Lufttilførselen kan ellers ha vært endret etter behov ved å dekke eller avdekke luftinntakene hvis ovnene var drevet med naturlig trekk.

---

## 4.5 Slaggets funksjon og kildeverdi

En del av mineralene i malmen, brenselet og til en viss grad byggematerialene i ovnen smelter ved høy varme og danner da slag. Smeltepunktet og flyteeenskapene til slagget varierer avhengig av sammensetningen (Rostoker og Bronson 1990:81-84, 91-92). Ved bruk av norsk myrmalm er det jernoksider, silikater og manganoksider som vil ha mest å si for slaggdannelsen og egenskapene til slagget (Espelund 2009).

Slagg er et viktig kildemateriale på flere måter. Funn av slagghauger og slaggblokker er ofte første indikasjon på jernutvinning i et område, andre prosesser som kan gi lignende slag (Englund 2002:24) har ikke hatt stort omfang og utbredelse i Norge. Slaggets overflate og indre struktur kan vise hvordan det har vært dannet, og til en viss grad hvilke mineraler og faser det består av (Englund 2002:200; Espelund 2008:109-111). Hvordan og hvor raskt slagget avkjøles vil for eksempel påvirke både den overflatiske formen og den indre krystallstrukturen (Englund 2002:261, 264).

Det ble produsert store mengder slag i forbindelse med en del eldre jernutvinningsanlegg (se 3.2.4). Slagget har som avfall uten noen videre nytteverdi vanligvis blitt liggende på jernfremstillingsplassene hvor det ble produsert, og bevares stort sett godt (Rostoker og Bronson 1990:87). Unntak finnes, for eksempel der senere jernverk med indirekte prosesser i en del tilfeller har brukt slag fra direkte jernfremstilling som råstoff (Espelund 2004:30-31; 2008:111; Pleiner 1980:384; Rostoker og Bronson 1990:93; Tylecote 1987:29). At dette har vært lønnsomt forteller noe om mengdene gammelt slag som kan finnes en del steder, og viser dessuten hvor annerledes den senere teknologien er. Ved arkeologiske undersøkelser må stratigrafien vurderes nøye for å se om større mengder slag kan ha vært fjernet etter at jernutvinningen på stedet opphørte (Tylecote 1987:291). Det finnes ingen tegn på at slik gjenbruk av gammel slag har foregått i utbredelsesområdet til trøndelagsovnene (Prestvold 1999:38).

En forutsetning for prosessen i jernutvinningen i eldre jernalder var at slagget smeltet og fløt ved en temperatur under smeltepunktet til jernet, slik at slagget effektivt kunne skilles fra jernet inne i ovnen (se 3.3 og 4.4). Dersom smeltepunktet til en bestemt slaggsammensetning skulle overstige den høyeste mulige eller ønskelige temperaturen i ovnen vil man ikke kunne skille metallet fra slagget (Rostoker og Bronson 1990:89, 92), hele massen av slag og

---

metall vil 'fryse' til en heterogen blanding inne i ovnen. I en vellykket prosess renner slagget vekk fra metallet, og størkner først når det møter lavere temperatur i gropen. Slagget kan dermed bevare forkullet organisk materiale det har kommet i kontakt med i flytende tilstand, som blant annet kan brukes til datering (Espelund 2008:111). På samme måte kan slagget bevare avtrykk av materialer og strukturer det har størknet mot (Espelund 2008:110).

For å holde smeltepunktet til slagget lavt må en del av jernoksidene i malmen gå uredusert over i slagget, da malmtypen som ble brukt ikke inneholder andre stoffer som senker smeltepunktet tilstrekkelig (Rostoker og Bronson 1990:82-83, 91-92). Unntaket er eventuelt manganoksider, som finnes i en del myrmalm og kan fylle samme rolle som jernoksidene i slagget (Espelund 2009:50). Om alt jernoksidet i malmen ble redusert til jern kunne man paradoksalt nok i praksis ikke få ut noe av jernet i brukbar form, mens om en del av jernoksidene gikk over i slagget fikk man brukbart jern og flytende slagg, godt separert. Dermed er det også et mål i prosessen å unngå en for kraftig reduksjon av malmen. Det høye jerninnholdet i slagg fra tidlig jernutvinning har ofte ført til at de eldre prosessene har blitt oppfattet som lite effektive, primitive og så videre (Englund 2002:22, 149; for eksempel Rosenqvist 1979)

Det er en viss tendens i arkeologisk litteratur mot at man oppfatter de slaggdannende stoffene i malmen som "urenheter" eller "forurensning" (Espelund 1997 b:124; se eksempler i blant annet Rosenqvist 1979:40; Narmo 1996:2; Renfrew og Bahn 2000:349), uten egentlig å ta hensyn til slaggets funksjoner i prosessen. Slagget må imidlertid sees som en funksjonell del av reaksjonsmiljøet i ovnen, som er med å styre opptaket av uønskede stoffer i metallet. Særlig gjelder dette karbon og fosfor, som kan gå over i metallet under de forholdene som oppstår i reduksjonsprosessen (se 4.6). Slagg som inneholder større andeler uredusert jernoksid tyder på at jernet som ble laget inneholdt relativt lite karbon og andre stoffer (Englund 2002:149; Espelund 2009; Serning 1973:117, 121).

Jernmassen som blir igjen vil likevel inneholde en del slagg, og må bearbeides noe for å egne seg som arbeidsemner. Rensingen kan ikke fjerne alle rester av slagg, og det gjenfinnes spor av det i ferdige gjenstander laget av direkte utvunnet jern (se for eksempel Lyngstrøm 2008:68; 2003:22). Disse slagginneslutningene kan gjennom kjemiske analyser vise bestemte mønstre av sporstoffer som knytter dem til malmsforekomster i bestemte regioner (Lyngstrøm 2003:22-23), og dermed belyse distribusjon og bruk av jern fra de forskjellige

---

jernproduserende områdene. For eksempel har slike analyser av slagginneslutninger i barrejern funnet i Danmark vist at typologi ikke kan knytte barre til spesifikke opphavsområder slik man tidligere har antatt (Lyngstrøm 2003:23).

Slagg som fjernes fra metallet ved 'primærsmiing' kan skilles fra slagget som renner av under selve utvinningen (Englund 2002:200-202; Lyngstrøm 2008:13, 41; Rundberget 2007:327), og der det kan dokumenteres vil det belyse organiseringen av arbeidet på plassen. I følge Stenvik (1996:29) er spor etter slik rensing av jernet ikke funnet på jernutvinningsplasser med trøndelagsovner, men det er uklart i hvilken grad man har sett etter det.

Slagget fra trøndelagsovnene har visse særtrekk i forhold til slagg fra andre ovner (se 3.2.4), noe som kan være grunnlag for teorier om teknologien. Dette betyr at slagget har smeltet av i flere porsjoner, og størknet raskt i slaggruppen. Altså viser slagget at temperaturen i ovnen har steget og sunket flere ganger i løpet av en brenning, og at slaggruppen ikke har blitt særlig varm. Akkurat hvor varm slaggruppen kan ha vært for å danne slike former i slagget er ikke undersøkt nærmere.

#### **4.5.1 Kvantifisering av arbeid og utbytte**

Sammensetningen av sporstoffer i malmen gjenspeiles i slagget (Espelund 2008:106-109; Hjärthner-Holdar m. fl. 1997:22-24), da det kun er jernoksider og fosfor som i vesentlig grad forsvinner fra den opprinnelige sammensetningen. Dette betyr at slagg til en viss grad kan spores til bestemte malmer (se 4.5 og 4.6.3), og at anrikingen av andre stoffer fra malmen i forhold til jernoksider i slagget viser hvor mye jernoksid som er redusert til jern (Espelund 2008:107). Malm inneholder varierende mengder jernoksid i forhold til andre stoffer, og det er dermed en absolutt forutsetning for beregninger basert på sammenligning av slagg og malm at man vet hvilken sammensetning malmen hadde (Englund 2002:152-153; Espelund 2008:108).

Det er en rekke usikkerhetsmomenter og feilkilder forbundet med slike beregninger. Et problem er at det kan være stor variasjon i sammensetningen av myrsmalm selv innenfor små geografiske områder (Hjärthner-Holdar 1993:110; Lyngstrøm 2008:24), Evenstad (1999:24 [1790]) skriver til og med at malm fra forskjellige lag umiddelbart over eller under hverandre

---

på samme sted i myra kan ha helt forskjellige egenskaper. Dermed kan man ikke vite helt sikkert hvilken sammensetning malmen som ble brukt hadde. Der man finner rester av malm på for eksempel røstestoffer vet man i alle fall at denne malmen var valgt ut som et brukbart råmateriale, men som analysegrunnlag vil den sannsynligvis være for forurenset av bioturbasjon og lignende prosesser (Englund 2002:185). Godt bevarte malmlagre vil være mindre utsatt for slike problemer, men foreløpig er det funnet få slike som kan knyttes sikkert til trøndelagsovner (Espelund 2007:22; Prestvold 1999:133).

Man må også stille spørsmål ved slaggmengden man baserer eventuelle kvantitative beregninger på. Slaggmengden i et slagggvarp er vanskelig å beregne, i og med at slagggvarpets utstrekning, volum og sammensetning (jord, slag, deler av ødelagte ovner) vil være usikre faktorer med mindre hele varpet graves ut og sorteres (Englund 2002:288). Dessuten er ikke alle typer slag like bestandig mot mekanisk eller kjemisk forvitring (Englund 2002:22-23, 200, 241; Rostoker og Bronson 1990:87; Tylecote 1987:298-300), og arkeologer ikke alltid har vært bevisst problemene med dette ved innsamling av slagggprøver til analyser (se for eksempel Serning 1973:Förord, sitert i 3.4 over). Bestandigheten avhenger av den fysiske formen på slagget, tykkelse, porøsitet, overflatens jevnhet, av den kjemiske sammensetningen, og av hvilke forvitningskrefter slagget utsettes for i det lokale miljøet. På grunn av variasjoner i temperatur og kjemiske forhold inne i ovnen i løpet av en enkelt brenning (se 4.4/4.4.1), kan slag fra forskjellige stadier i brenningen ha forskjellige egenskaper og være bevart i forskjellig grad.

En annen mulig feilkilde er gjenbruk av slag som råstoff eller hjelpestoff i jernutvinning (Englund 2002:288; Espelund 2008:111; Tylecote 1987:29). Det er vanskelig å vite i hvor stor grad dette har foregått. Bruk av slag som råstoff har forekommet både i tidlig moderne jernverk med indirekte produksjonsteknologi, og i historisk dokumenterte direkte prosesser i Skandinavia. Det var i følge de skriftlige kildene i denne sammenhengen visse typer slag som ble valgt ut, enten fra produksjon i tidligere perioder, eller spesielle typer slag fra bestemte deler av prosessen, eller slag fra ikke fullt vellykkede brenninger (Englund 2002:157; Espelund 2003:199). Dette innebærer at visse typer slag kan være underrepresentert, at den totale mengden kan være misvisende og at den kjemiske og mineralogiske sammensetningen av slagget kan være misvisende både i forhold til prosessstype og råstoffene. Slag kan også ha blitt fjernet fra sin opprinnelige kontekst av andre grunner, for eksempel ble noe slag lagt i graver i flere deler av jernalderen (Bergstøl

---

2005:146, 148; Rundberget 2002:56, 58). Vesentlige mengder slagg kan imidlertid bare ha blitt borte som følge av forvitring eller resirkulering som råstoff.

Om man tar med slike feilkilder i betraktningene, kan mengden slagg gi et visst grunnlag for beregning både av hvor mye råvarer som ble brukt og hvor mye jern som ble utvunnet. Dette kan videre gi en idé om hvor mye arbeidskraft som ble brukt. På tross av usikkerhetene er jernutvinningen lettere å kvantifisere enn andre erverv i jernaldersamfunn (Narmo 1997:125). Betydningen av produksjonen av for eksempel kjøtt, melkeprodukter eller tekstiler er svært vanskelig å bedømme ut fra kildene som finnes.

## 4.6 Jern

Det er gjort få funn av jernet i den formen det hadde som ferdig produkt fra trøndelagsovnene, før det ble smidd om til jerngjenstander (Stenvik 1996:30). De stykkene som er funnet har stort sett hatt en vekt på noe under 20 kilo og vært runde av form (Espelund 2009:51; Stenvik 1996:30). I 1997 mente Espelund (1997 b:126) at det ble dannet en slik klump ved hvert luftinntak i ovnene når de ble drevet. Dette lar seg imidlertid ikke si sikkert så lenge en ikke har funnet jernklumper *in situ* i en utømt ovn, og man ikke en gang kan si sikkert hvor mange luftinntak ovnene har hatt, hvordan de har vært formet og hvor de var plassert (se 4.4).

Rent jern har alltid de samme fysiske egenskapene. Samme smeltetemperatur, samme sveisetemperatur, samme kjemiske egenskaper, samme hardhet, plastisitet og elastisitet. Imidlertid er det aldri snakk om helt rent jern i arkeologisk sammenheng. Jernet som ble produsert i de såkalte direkte prosessene var relativt rent etter senere standarder (Almar-Næss 2003:376; Lyngstrøm 2008:9; Rostoker og Bronson 1990:98), men prosessen og råstoffene fører til at det alltid er spor av andre stoffer i metallet. Det vil ofte dreie seg om så små mengder at forskjellige laboratorieanalyser er den eneste muligheten til å påvise dem, men visse stoffer vil påvirke jernets egenskaper merkbart; slik at man kan kjenne, og kanskje høre og se forskjell ved bearbeidingen (Lyngstrøm 2008:9-10). Stoffene gir jernet forskjellige egenskaper, og gjør at jern med forskjellig innhold må behandles på ulike måter.

Når vi drøfter jern som er fremstilt ved direkte reduksjon av myrmalm er det først og fremst karbon og fosfor som spiller inn, og i mindre grad svovel. Generelt har det vært ønskelig å

---

holde andelen fosfor og karbon lav, men dette avhenger av bruken jernet skulle være tilpasset. Både fosfor og karbon kan i begrensede mengder gi jernet egenskaper som i visse sammenhenger er nyttige, først og fremst evnen til å bli hardere ved bestemte behandlinger (se 4.6.1). For store andeler har imidlertid ikke vært nyttig til noe, det vil ha gjort jernet uegnet til de formålene det ble brukt til med den tidens teknikker.

#### 4.6.1 Karbon

Forskjellige andeler karbon i jernet gir det forskjellige egenskaper, for eksempel sveises rent jern best ved omkring 1200 grader celsius eller noe mer, mens karbonrikt jern (stål) raskt vil miste karbon og dermed sine spesielle egenskaper ved slike temperaturer (Pleiner 1980:405). Mengden karbon i stål er vanligvis ikke bestemt nærmere enn at den er tilstrekkelig til å gi jernet den egenskapen at det kan herdes, det vil si bli hardere enn utgangspunktet ved bråkjøling fra høy temperatur. Overstiger karboninnholdet en viss grense får jernet andre egenskaper og kalles støpejern. Det er da så hardt at det ikke lar seg smi, selv om dette til en viss grad er en skjønnsvurdering, og dessuten delvis avhengig av bruksområde (Almar-Næss 2003:233, 305). Både jern, stål og støpejern kan dannes i ovner som er laget for direkte reduksjon, avhengig av temperatur og kjemi.

Karbon er det viktigste legeringsstoffet i tidlig metallurgi. Det kommer fra brenselet og kan dermed alltid påvirke jernet som lages uavhengig av hva slags malm som brukes. Brenselet vil også kunne inneholde andre stoffer i større eller mindre mengder, men karbon er med stor margin hoveddelen. Det kan også sies å gi størst utslag i form av endringer av jernets egenskaper. Karbon påvirker både smeltepunktet til jernet og egenskapene ved smiing og herding. Støpejern inneholder opp til cirka 4 % karbon, og har da omtrent 30 % lavere smeltepunkt enn rent jern. Støpejern finnes av og til i forbindelse med direkte jernfremstilling i eldre jernalder, men er tilsynelatende ikke brukt til noe; muligens var det ansett som feilvare og ubrukelig (Pleiner 2003:183, 187-188).

Når karboninnholdet nærmer seg 1 prosent vil noe av karbonet og jernet danne en hard og sprø kjemisk forbindelse kalt cementitt eller jernkarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), karbonet som ikke binder seg til jernet på denne måten finnes i mellomrommene i krystallgitteret i jernet (Almar-Næss 2003:224-232). Disse mellomrommene er, enkelt forklart, vesentlig større ved temperaturer over ca 830 grader C, noe som gjør at det er et sprang i løseligheten til karbon rundt denne



---

temperaturen. Under denne temperaturen er det ikke mulig å løse mer karbon i jern, og det karbonet som allerede er løst vil enten danne karbid eller forvrengte krystallgitteret i jernet ved at det tar opp mer plass enn det egentlig finnes i mellomrommene (Almar-Næss:226-7). Denne mellomromsløsningen er bakgrunnen for de spesielle egenskapene karbon gir jern.

Karboninnholdet i jernet kan i direkte prosesser bare styres ved å kontrollere temperaturen og balansen mellom karbon, oksygen, slagg og jern i ovnen, og ved å styre varigheten av kontakten mellom stoffene (Espelund 2003; 2009). Jern tar opp karbon raskt ved temperaturer nær eller over smeltepunktet, men svært sakte noen hundre grader under dette (Espelund 2003:196-197; Rostoker og Bronson 1990:122-123). Dette forutsetter selvsagt at det er et overskudd av karbon tilstede, altså mer karbon enn det tilgjengelige oksygenet kan binde seg til. Ved vedvarende høy temperatur og stort overskudd av karbon i prosessen kan altså jernet ta opp så mye karbon at det får redusert smeltepunktet betraktelig og blir flytende. En praktisk konsekvens av dette er at jernet blander seg med det flytende slagget og blir vanskelig å skille ut. I tillegg kommer problemene med økt løselighet av urenheter som gir jernet uønskede egenskaper.

#### **4.6.2 Fosfor**

Fosfor finnes i varierende mengder både i malmen og i brenselet (Buchwald 2003; Godfrey m. fl. 2003; Hjärthner-Holdar 1993:15), skjønt fosfor fra brenselet i liten grad synes å gå over i metallet (Buchwald 2003:172). Ved å velge råstoffer med varierende fosforinnhold kan man påvirke den tilgjengelige mengden fosfor i prosessen, noe som ikke er mulig med karbon. Det er store variasjoner i fosforinnholdet i myrmalm (Rostoker og Bronson 1990:46), og ulike brenseler inneholder forskjellige mengder fosfor. For eksempel er det generelt mer fosfor i bark enn i ved (Tylecote 1987:294, 313), og ulike treslag inneholder ulike mengder fosfor (Bloch-Nakkerud 1987:102).

Som med karbon kan man også til en viss grad redusere opptaket av fosfor i metallet med å sørge for at temperaturene i prosessen ikke er høyere enn nødvendig, og at de høyeste temperaturene ikke holdes lengre enn nødvendig (Rostoker og Bronson 1990:47; Serning 1973:117,121). Kompliserende faktorer er samspillet mellom fosfor og karbon, som at fosfor over en viss andel hemmer opptaket og spredningen av karbon i jernet, og at karbon til en viss grad endrer virkningen fosfor har på egenskapene til metallet (Godfrey m. fl. 2003:192;

---

Rostoker og Bronson 1990:22). Det er lite fosfor i jern og slagg fra eldre jernutvinningsteknologier i Norge (eksempler på analyser i Espelund 1999:128; Lyngstrøm 2008:77, 82). Dette kan skyldes tilfeldigheter som fosforinnholdet i malmen og brenselet, eller det kan være et resultat av fremgangsmåten, noe som i seg selv kan være tilfeldig eller bevisst, eventuelt en bivirkning av fremgangsmåter som har andre hovedmål. Inntil man har oppnådd en grad av forståelse av trøndelagsovnene som teknologi som tillater at man vurderer hvilke variasjonsmuligheter som fantes innenfor rammene, er det ikke mulig å si sikkert om fosforinnholdet var et resultat av bevisste valg.

Fosfor gjør jernet hardere i utgangspunktet og gir det dessuten større evne til å herdes ved mekanisk belastning, som hamring uten oppvarming (Buchwald 2003:175; Tylecote 1987:260). Fosfor gjør også jernet spesielt hardt og skjørt ved lave temperaturer, slik at fosforholdig jern er betraktelig svakere ute om vinteren enn i romtemperatur. Dette kalles kaldskjørhet, og skyldes forbindelsen  $Fe_3P$  som felles ut ved korn grenser i jernet og blir sprøtt ved lave temperaturer (Almar-Næss 2003:386; Godfrey m. fl. 2003:191-192; Rostoker og Bronson 1990:22, 47). Fosfor gjør jernet mer motstandsdyktig mot rust i saltvann, og gir jernet en noe annen farve enn rent jern eller karbonholdig jern, noe som kan utnyttes til mønstersmiing, der sammensveisede emner med forskjellige farver danner mønstre på overflaten av de ferdige gjenstandene (Lyngstrøm 2008:12).

### **4.6.3 Svovel og andre stoffer**

Svovel finnes i ulike mengder i forskjellig malm, og kan gå over i metallet som lages dersom den ikke fjernes fra malmen ved røsting før man reduserer den (Rostoker og Bronson 1990:46, 53, 99). Svovel i jern som skal smis har ingen gunstige virkninger, og gjør jernet skjørt i varm tilstand slik at det kan sprekke når det smis (Almar-Næss 2003:386; Rostoker og Bronson 1990:6). Svovel var et stort problem for jernutvinningen i tidlige stadier av den industrielle revolusjon, da man tok i bruk steinkull som brensel. Dette inneholder en del svovel, som ikke umiddelbart lar seg eliminere før bruk. Ved bruk av ved eller trekull kunne man derimot fjerne størsteparten av den potensielle svovelforensningen ved å røste malmen (se 4.1.2), siden dette brenselet inneholder lite svovel. Det er også verdt å merke seg at en bestemt andel svovel vil gjøre større skade i jern som har vært flytende enn i jern som aldri har smeltet (Tylecote 1987:48).

---

Andre stoffer gikk ikke i vesentlig grad over i jernet under utvinningen (Tylecote 1987:52), og kan derfor spores i analyser av slagginneslutninger i jernet. Innholdet av spesielle stoffer eller spesielle forhold mellom stoffer i slagginneslutningene kan brukes for å spore jernet tilbake til råvarer fra bestemte områder. Metodene er nylig tatt i bruk i jernvinningsforskningen (for eksempel Lyngstrøm 2003:22-23; 2008:82, 85; Rundberget 2007:324), og et forskningsprosjekt på temaet er i oppstartsfasen på KHM.

## 4.7 Ubesvarte spørsmål

Bevaringstilstanden til ovnene og andre strukturer på jernutvinningsplassene, kombinert med manglende kunnskap om fremgangsmåten fører til problemer med tolkningene. For eksempel blir det regnet som sannsynlig at det ikke ble brukt blåsebelger i trøndelagsovnene (se 4.4.1), men argumentene mot blåsebelger bygger først og fremst på mangelen på funn som med sikkerhet kan knyttes til bruk av blåsebelger. Når forsøk på å drive rekonstruerte trøndelagsovner ikke har lyktes i noen særlig grad, skyldes det at materialet rekonstruksjonen bygges på er ufullstendig, eller skyldes det problemer med metodene som er brukt for å rekonstruere ovnene og bruken av dem?

Vesentlige ubesvarte spørsmål er: hvor store og hvor mange luftinntak har det vært, og hvor i sjakten var de plassert? Hvor høy har sjakten vært? Hvilken form har den hatt? Har det vært flere åpninger i sjakten, hva har disse i så fall vært til? Har det vært åpninger som kunne lukkes eller åpnes? Hvordan har det i så fall vært gjort? Alle disse spørsmålene gjelder ting som har betydning for forbrenningen inne i sjakten, og dermed temperaturen og reaksjonene som skal skje.

Anlegg med trøndelagsovner kalles ofte rosettanlegg på grunn av mønsteret av groper rundt hver enkelt ovn, og gropene må antas å være et viktig trekk (se 3.3 over). Det er imidlertid ikke noen enighet om hva de har vært brukt til, ut over en allmenn antagelse om at de har vært vesentlige for driften. Foreløpige tolkningsforslag har vært forskjellige lagre, slik man har sett ved noen senere ovnstyper (Englund 2002:186; Prestvold 1999:46-47), eller en form for arbeidsplasser for dem som drev ovnene. De kan for eksempel ha gitt bedre plass til blåsebelger og arbeidere (Prestvold 1999:60), skjønt det sannsynligvis ikke ble brukt blåsebelger ved disse ovnene (se 4.4.1). De kan også ha gjort det enklere å vedlikeholde

---

luftinntak eller inspisere prosessen gjennom luftinntakene dersom disse av andre årsaker måtte være plassert lavt på pipemuren.

Detaljer i driftsmåten er vanskelige å 'se' i det arkeologiske materialet. For eksempel er det vanskelig å finne spor av eventuell variasjon i tilførselen av malm, brensel og luft i løpet av brenningen. Ble for eksempel all malmen og alt brenselet satt til i ovnen på en gang? Var det jevn tilførsel av malm, brensel og luft gjennom hele prosessen? Ble det satt til i satser over tid i løpet av prosessen, eventuelt av varierende størrelse og sammensetning? I så fall, kan vi finne ut på hvilken måte dette foregikk?

---

## 5. Uutnyttede muligheter

Det finnes naturvitenskapelige analyser og arkeologiske metoder som ikke er benyttet i undersøkelser av trøndelagsovner. Ut fra eksempler fra andre jernvinneundersøkelser, er det grunn til å tro at man kan bruke disse metodene for å finne ut mer om trøndelagsovnene også. Dette er ikke ment som noen komplett liste over metoder og materialer, men illustrerer at det finnes en rekke muligheter som ikke er utnyttet til det fulle i forbindelse med trøndelagsovnene. I tillegg til rent metodiske grep må det understrekes at nye problemstillinger og spørsmål er av stor betydning.

### 5.1 Naturvitenskapelige undersøkelser

Egenskapene til de bestemte sammensetningene av leirmineraler som finnes på de jernfremstillingsplassene kan undersøkes med tanke på hvor leiren er hentet og hvordan den er bearbeidet. Termiske analyser kan gi sikre svar på hvor høye temperaturer som har vært oppnådd i forskjellige deler av strukturen (Rundberget 2007:332-333). Dersom variasjoner i de øvre temperaturene kan påvises som forskjellig brenningsgrad eller forslagging på forskjellige steder i ovnsstrukturen kan dette gi ytterligere informasjon om driften, et godt eksempel på dette er dokumentert av Lars-Erik Englund (2002:193) ved undersøkelse av godt bevarte ovner i Sverige. Endringer kan også oppstå i leiren som følge av reaksjoner med stoffene inne i sjakten, for eksempel vil forskjellige grader av reduserende eller oksiderende gassblandinger ved høye temperaturer gi kjemiske endringer i leirmineralene (Orton m. fl. 1993). Disse endringene kan undersøkes for å gi et bilde av forholdene inne i sjakten, og for å avgjøre om byggematerialene kan ha påvirket prosessen.

For å bedre forstå hvordan driften foreløp gjennom forskjellige trinn frem til det resultatet vi finner sporene av, vil det være nyttig å undersøke det man måtte kunne finne av halvferdige, uferdige og mislykkede produkter og biprodukter, som for eksempel delvis redusert og smeltet malm, slagge som ikke er skilt fra metallet, metall som har blitt igjen i slagget og så videre (Ploquin m. fl. 2003:122-123).

---

## 5.2 Dateringsmetoder

Dateringene av trøndelagsovnene bygger på  $^{14}\text{C}$ -analyser, med mulighetene for høy egenalder på brenselet som usikkerhetskilde (se 3.3). Det er derfor av interesse å vurdere alternative dateringsmetoder som ikke vil påvirkes av brenselets egenalder.

Leiren i pipemurer og foringer ble til dels brent ved høye temperaturer, noe som gir muligheter for mer direkte dateringsmetoder. Termoluminescens har blant annet vært foreslått i forskningen på afrikansk metallutvinning, hvor det i enkelte områder finnes samme usikkerhet som hos oss, med potensielt misvisende  $^{14}\text{C}$  dateringer på grunn av bruk av gammelt trevirke som brensel (Childs og Herbert 2005:280; Godfrey-Smith og Casey 2003).

Såkalte arkeomagnetiske dateringsmetoder er prøvd ut blant annet i Danmark og Storbritannia (Abrahamsen m. fl. 2003; Crew m.fl. 2003). Disse baserer seg på å måle orienteringen på magnetiseringen av funnene, som da kan relateres til endringer i retningen på magnetismen i jorda over tid, noe som er kjent til en viss grad (Sulebak 2007:61). Metoden avhenger av at funnene som måles ikke har blitt flyttet på siden deres magnetiske orientering ble låst i en bestemt retning ved kjøling fra høye temperaturer. I grunnen inne i og rundt jernutvinningsovner kan man måle til dels kraftige lokale magnetiske anomalier som kan brukes på denne måten (Crew m. fl. 2003:209-210, 219-221). Videre er det mulig å datere slaggblokker hvis de finnes uforstyrret i gropene der de størknet, men denne metoden innebærer noe flere usikkerhetsmomenter (Abrahamsen m. fl. 2003:205-207).

Dendrokronologiske dateringer av forkullet ved har vist seg å være mulig i forbindelse med ovnene fra vikingtid/middelalder på Gråfjell, både på brensel og på konstruksjonselementer i groper under ovnene (Rundberget 2007:315). Dendrokronologiske dateringer vil også kunne gi feildateringer av jernutvinningen hvis trevirket er gammelt når det blir brukt, men hvis man har godt materiale kan man for eksempel påvise aldersforskjell mellom ulike stykker brensel, eller mellom brenselet og strukturelle elementer, noe som vil gi en indikasjon på hvor pålitelige  $^{14}\text{C}$  dateringen er. For et slikt formål vil en relativ dendrokronologi være tilstrekkelig, hvis det viser seg vanskelig å knytte materialet til en kjent kronologi. Det bør i fremtidige undersøkelser av trøndelagsovnene undersøkes om noe av det forkullede

---

materialet i slagdropene kan brukes til dendrokronologi, dersom det er mistanke om problemer med  $^{14}\text{C}$  dateringene.

### 5.3 Eksperimentelt arbeid

Et hovedproblem med eksperimenter med trøndelagsovnene er at det ikke finnes noen sikker rekonstruksjon, formen er stort sett ukjent over bakkenivå (se 3.4). Inntil det lar seg gjøre å rekonstruere en ovn som i større grad er basert på funnmaterialet enn på andre ovnstyper, vil eksperimentell jernutvinning være en problematisk fremgangsmåte i forhold til trøndelagsovnene.

Visse særtrekk ved slagget kan tolkes som spor etter spesielle fremgangsmåter. Slagdropen var nødvendigvis ikke så varm som sjakten, så når slagget smeltet i sjakten rant det ned og størknet raskt i gropen. Slagget fra trøndelagsovnene har ofte horisontale riller på de flatene der de størknet mot veggen av gropen, noe som tyder på syklisk variasjon i temperaturen under brenningen. Slagget har med andre ord ikke flytt jevnt fra det først nådde smeltepunktet, men rent av i porsjoner underveis (Espelund 2008:124-125).

Temperaturvariasjonene er foreslått å være en virkning av satsvis tilsats av furuved underveis i brenningen (se 4.2). Dette er en teori som kunne vært undersøkt eksperimentelt. Hva slags prosesser som kan føre til forskjellige slagformer er noe forsøk kunne gitt flere svar på, om man kan argumentere for at rekonstruksjonene, materialene og fremgangsmåten er så like originalene at de virker på samme måte.

Espelund (2008:133) har også presentert et rekonstruksjonsforslag som kanskje kunne forsøkes. Det er imidlertid noe skjematisk fremstilt og ville eventuelt kreve en del forundersøkelser i forhold til byggemåte, muligheter for å variere forskjellige parametere og så videre. En fordel i så måte er at slagdropene er godt dokumenterte, og kunne bygges nøyaktig som de originale. Over en slik grop kan forskjellige former for sjakt med forskjellige fremgangsmåter prøves ut. De opprinnelige ovnene har jo nettopp hatt mulighet for å skifte ut sjakten oppå en permanent grop. Størrelsen på ovnene er imidlertid på tross av usikkerheten i forhold til høyde og form såpass stor at eksperimentelt arbeid med denne ovnstypen vil være svært tids- og arbeidskrevende. Englands (2002) eksperimentrekke (se

---

2.4.3) har gjort tydelig behovet for et større antall forsøk for å utvikle modeller og prøve ut variasjoner.

## 5.4 Utgravnings- og registreringsmetoder

Maskinell flateavdekking av jernutvinningsplasser og tilhørende strukturer i forbindelse med Gråfjellprosjektet viste nyttigheten av denne metoden, også i områder med vanskelig undergrunn og skog, og gir mulighet til mer effektivt å få oversikt over helheten på lokalitetene (Rundberget 2007:31-33). Terrenget rundt trøndelagsovnene er ikke vanskeligere for gravemaskin enn områdene som ble undersøkt for eksempel på Gråfjell (Rundberget 2007) eller Dokkfløy (Larsen 1991).

Magnetometerundersøkelser ble også prøvd ut på Gråfjell, for å finne jernutvinningsplasser og røsteplasser som ikke var synlige på overflaten (Rundberget 2007:280-283). På denne måten ble særlig røsteplasser som ellers ikke ville være funnet registrert og undersøkt. Røsteplasser og malmtak er en del av teknologien rundt trøndelagsovnene som ikke har blitt kartlagt, og som kunne bidra med ny forståelse av ressurstilgang og lokaliseringsfaktorer i forhold til plasseringen av de forskjellige elementene av teknologien.

Magnetometerkartlegging egner seg som registreringsmetode og som tillegg til utgravning, for å få en bedre oversikt over arbeidets art og omfang i forbindelse med de mindre kjente sidene av teknologien. Hvor malmen ble røstet, og hvor den røstede malmen ble lagret er for trøndelagsovnenes del helt ukjent.

En innsamling av alle fragmenter av sjaktveggene fra en utgravning, med tanke på rekonstruksjon av formen burde forsøkes. Mange av jernutvinningsplassene med trøndelagsovner har hatt flere ovner og vært i bruk over en tilstrekkelig lang tidsperiode til å medføre mange reparasjoner av sjaktene og sannsynligvis bygging av flere sett med nye sjakter. Det ideelle stedet å prøve å få oversikt over formen på sjaktene ville derfor være en lokalitet med færrest mulig ovner og kortest mulig drift, for eksempel tolket ut fra slaggmengdene. Flere viktige spørsmål kunne vært besvart hvis man kunne sette sammen igjen en større del av en sjakt. Ikke bare den ytre geometriske grunnformen og høyden på sjakten er viktig, men også faktorer som varierende tykkelse på sjaktveggen, variasjoner i



---

temperaturpåvirkning og kjemiske endringer på forskjellige deler av sjakten, eventuelle spor etter forsterkninger av deler av strukturen og luftinntak.

---

## 6. Konklusjon

Teknologien som trøndelagsovnene representerer, er ikke fullt ut forstått. Hovedproblemene med forståelsen av selve ovnene knytter seg til formen på sjakten og derunder lufttilførselen. Dette er et vesentlig hinder i veien for tolkninger av teknologien som helhet.

Av den skjematiske fremstillingen av en *chaîne opératoire* for teknologien ser vi at flere elementer i teknologien er lite kjent, og kun kan antas å være en del av teknologien på det grunnlag at de må ha vært nødvendige ut fra kjemiske og fysiske lover og metallurgiske prinsipper. Både historiske (for eksempel Evenstad 1999 [1790]) og antropologiske eller etnoarkeologiske (for eksempel Barndon 2001) studier viser hvor lite av handlingene og valgene som inngår i en så sammensatt prosess som jernutvinning som vil kunne tolkes utvetydig ut fra et arkeologisk materiale (Lemonnier 1993:7-8). Dette kommer også frem av skjemaet, som til dels er svært summarisk og lite detaljert i forhold til konkrete handlemåter i de enkelte trinnene. Gjennomgangen av materialenes egenskaper i forhold til forskjellige prosesser viser at jernutvinningsteknologi er svært komplekst og innebærer en nærmest endeløs rekke muligheter og begrensninger, og at en enorm oppsamlet erfaring og kunnskap må ligge bak en slik teknologi i et samfunn uten høyskoler, biblioteker, måleapparater eller skrift. En slik teknologi vil under slike forhold kun kunne eksistere i den grad kunnskapen og erfaringen holdes aktivt ved like ved regelmessig bruk og bevisst opplæring og formidling. Den klart avgrensede geografiske utbredelsen av teknologien er spennende å spekulere rundt i et slikt lys: man kan se for seg at den som ville lære noe om jernutvinningen måtte knyttes til et erfarent 'lag' over lengre tid for å lære ved å delta og erfare. Slik kan man tenke seg at spredningen av teknologien var begrenset av ikkematerielle elementer som kunnskap, snarere enn utbredelsen av naturlige forutsetninger som malm og furuskog.

Det arkeologiske materialet som er bevart fra teknologien er imidlertid de eneste kildene vi har til kunnskapen og handlingene som bandt teknologien sammen. Materialet er kun restene av de teknologiske elementene som har virket sammen og produsert et fysisk resultat som vi kan observere deler av i dag (Lemonnier 1993:4). Problemstillingens mål var å vise hvilket bilde det arkeologiske materialet kan gi av teknologien og elementene som har utgjort den. Det bildet som har kommet frem er fullt av vesentlige mangler: Formen på ovnen over

---

bakken er i stor grad ukjent, og lufttilførselen er ukjent. Betydningen av groper og stolpehull er ukjent. Innsamlingen og forbehandlingen av råvarer er ukjent. Arbeidsinnsatsen er ikke kvantifiserbar. Beregninger av produksjonsstørrelse er usikre.

Den manglende forståelsen av teknologien gjør at produksjonsstørrelsen og arbeidsinvesteringene ikke kan kvantifiseres sikkert på det grunnlaget som nå finnes, slik at den økonomiske og samfunnsmessige betydningen av jernutvinningen er vanskelig å bedømme. Dette fører igjen til at jernutvinningens plass i den større konteksten er usikker. Hva representerte jernutvinningen i samtiden? En mulighet til å skaffe overskudd, en strategisk ressurs eller et nødvendig slit for å få tak i nødvendige materialer? Skriftlige kilder som berører Trøndelag i denne perioden mangler fullstendig. Jernutvinningsanleggene og ovnene er de eneste kildene som direkte kan belyse disse emnene i eldre jernalder, og fortjener dermed fortsatt oppmerksomhet, nye undersøkelser, utprøving av forskjellige metoder og samarbeid om problemstillinger knyttet til teknologien i seg selv. På den positive siden viser metodeutvikling og økt erfaring og datatilfang i jernvinneundersøkelser som har berørt andre teknologier at det er store muligheter i denne typen materiale. For å utvide Espelunds rammemetafor, kan man si at teknologien som helhet er en del av rammen for eldre jernalders samfunn i Midt-Norge.



---

## Kildeliste

Abrahamsen, Niels, Bo Holm Jacobsen, Uwe Koppelt, Philip de Lasson, Tatyana Smekalova, Sidsel Grundvig og Olfert Voss

2003 Archaeomagnetic Mapping, Modelling, Analysis and Dating of Iron Age Slags in Denmark. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 205-208. Aarhus University Press, Aarhus.

Almar-Næss, A.

2003 *Metalliske materialer*. 4. utgave. Tapir akademisk forlag, Trondhjem.

Bang-Andersen, Sveinung

1986 Veden de fant – bålene de brant. Vedanatomanalyse som metode til rekonstruksjon av nærmiljøet rundt steinalderboplasser i høgfjellet. *Viking XLIX*.

Bergstøl, Jostein

2005 Kultsted, verksted eller bosted? I *De gåtefulle kokegroper*, redigert av Lil Gustafson, Tom Heibreen og Jes Martens, s. 145-153. Varia 58, artikkelsamling. Kulturhistorisk Museum, Fornminneseksjonen, Oslo.

Bloch-Nakkerud, Tom og Eva Schaller

1979 Slaggroper på Eg, Kristiansand, Vest-Agder. I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s. 8-18. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Bloch-Nakkerud, Tom

1987 *Kullgropen i jernvinna øverst i Setesdal*. Varia 15. Universitetets Oldsaksamling, Oslo.

Borup, Hildegunn

1997 Østlandsovn – Medieval Shaft Furnace from Norway. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 97-102. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

Buchwald, Vagn Fabritius

2003 Bloomery Iron, Osmund Iron, Fined Iron and Puddled Iron. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 171-76. Aarhus University Press, Aarhus.

---

Bårdseng, Line

2001 Patterns in the location of Iron Extraction Sites and Charcoal Pits in Relation to Individual Iron Extraction Sites in Hedemark County. I *Scandinavian archaeological practice – in theory*, redigert av Jostein Bergstøl, s. 372-385. OAS vol. 1. Institutt for arkeologi, kunsthistorie og konservering, Universitetet i Oslo, Oslo.

Childs, S. Terry og Eugenia W. Herbert

2005 Metallurgy and its Consequences. I *African Archaeology*, redigert av Ann Brower Stahl. Blackwell Publishing, Oxford.

Crew, Peter, Tatyana Smekalova og Bruce Bevan

2003 High Resolution Magnetic Surveys of Prehistoric and Medieval Iron-Smelting Furnaces in North-West Wales. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 209-222. Aarhus University Press, Aarhus.

Englund, Lars-Erik

2002 *Blästbruk*. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie nr. 40. Bergshistoriska utskottet, Stockholm.

Espelund, Arne

1985 Metallurgisk A B C for jernblestring. I *Frå malm i myra til stål i smia*, redigert av Ivar Berre, s. 47-63. Utgitt av prosjektgruppa "Jarnvinna" i samarbeid med skoledirektøren i Nord-Trøndelag, Namsos.

1989 The operation of bloomery furnaces from AD 0-500 in Mid-Norway. I *Archaeometallurgy of Iron*, redigert av Radomír Pleiner, s. 169-189. Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP, Praha.

1991 Bog Iron Ore for the Bloomery Process. I *Bloomery Ironmaking During 2000 Years*, vol. I, redigert av Arne Espelund, s. 36-49. Norges tekniske høgskole, Trondhjem.

1997 a An Attempt to Define Archaeo-Metallurgy. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 7-13. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

1997 b Ole Evenstad og den yngre jernvinna i Norge. *Viking LX*: 109-132.

1997 c The "Evenstad" Process – Description, Excavation, Experiment and Metallurgical Evaluation. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 47-58. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

---

1997 d Ironmaking in Trøndelag During the Roman and Pre-Roman Iron Age. An Archaeo-Metallurgical Evaluation. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 103-113. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

1999 *Bondejern i Norge*. Arketype, Trondhjem.

2003 The Four Phases Carbon – Gas – Slag – Metal and their Interaction in Bloomery Ironmaking. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 195-201. Aarhus University Press, Aarhus.

2004 *Jernet i Vest-Telemark*. Arketype, Trondhjem.

2007 Heglesvolloven etter 25 år. *SPOR* (1):20-23.

2008 *Bondejern i Norge*. Nytt endret opptrykk. Arketype, Trondhjem.

2009 A new look at experimental ironmaking. *euroREA* 6/2009:50-52.

Espelund, Arne og Lars Fredrik Stenvik

1993 Ironmaking During the Roman Iron Age in Mid-Norway: The Bloomery Site Storbekken in Budalen. I *Bloomery Ironmaking During 2000 Years*, vol. III, redigert av Arne Espelund, s. 123-148. Norges tekniske høgskole, Trondhjem.

Evenstad, Ole

1999 [1790] Afhandling om Jern-Malm, som findes i Myrer og Moradser i Norge, og Omgangsmaaden med at forvandle den til Jern og Staal. Trykket med kommentarer i *Bondejern i Norge*, av Espelund, Arne. Arketype, Trondhjem.

Farbregd, Oddmunn

1979 Jernvinne og jernalders busettning i Trøndelag – ei problemstilling. I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s.56-58. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Farbregd, Oddmunn, Lil Gustafson og Lars F. Stenvik

1985 a Undersøkelsene på Heglesvollen. Tidlig jernproduksjon i Trøndelag. *Viking* XLVIII:103-29.

1985 b Tidlig jernproduksjon i Trøndelag. Undersøkelsene på Heglesvollen. I *Frå malm i myra til stål i smia*, redigert av Ivar Berre, s. 71-87. Utgitt av prosjektgruppa "Jarnvinna" i samarbeid med skoledirektøren i Nord-Trøndelag, Namsos.

Gjerløff, A. K. og H. Sørensen

1997 Fuel for the fire – charcoal vs. wood in iron production. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 67-72. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

---

Gjerpe, Lars Erik

2008 Vedtaksanalyse og kulturhistorie. I *Kulturhistoriske, metodiske og administrative erfaringer*, redigert av Lars Erik Gjerpe, s. 95-106. Varia 74, E18-prosjektet Vestfold Bind 4. Kulturhistorisk Museum, Fornminneseksjonen, Oslo.

Godfrey, E. G., A. Vizcaino og J. G. McDonnell

2003 The Role of Phosphorus in Early Ironworking. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 191-194. Aarhus University Press, Aarhus.

Godfrey-Smith, D. I. og J. L. Casey

2003 Direct thermoluminescence chronology for Early Iron Age smelting technology on the Gambaga Escarpment, Ghana. *Journal of Archaeological Science* 30(8):1037-1050

Gosden, Chris

2005 Ethnoarchaeology. I *Archaeology: The Key Concepts*, redigert av Colin Renfrew og Paul Bahn. Routledge, London.

Grandin, Lena og Eva Hjärthner-Holdar

2003 Early Iron Production in the Red Earth Area, South Central Sweden. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 33-36. Aarhus University Press, Aarhus.

Hagen, Anders

1953 *Studier i jernalderens gårdssamfunn*. Universitetets Oldsaksamling, Oslo.

Hambro Mikkelsen, Peter

1997 Straw in slag-pit furnaces. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 63-66. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

2003 Slag – With an Impression of Agricultural Practices. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 43-48. Aarhus University Press, Aarhus.

Harding, Anthony

1997 Reformation in Barbarian Europe, 1300-600 BC. I *The Oxford Illustrated History of Prehistoric Europe*, redigert av Barry Cunliffe, s. 304-335. Paperback edition. Oxford University Press, Oxford.



---

Hjärthner-Holdar, Eva

1993 *Järnets och järnmetallurgins introduktion i Sverige*. Aun 16. Societas Archaeologica Upsaliensis, Uppsala.

Hjärthner-Holdar, Eva, Peter Kresten og Lena Larsson

1997 From the Known to the Unknown. Application of Well-Known Experimental Iron Production Results to Archaeological Materials. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 15-25. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

Hodder, Ian

1991 *Reading the Past: Current Approaches to Interpretation in Archaeology*. 2. utgave. Cambridge University Press, Cambridge.

1999 *The Archaeological Process: An Introduction*. Blackwell Publishers, Oxford.

Høeg, Helge Irgens

1990 *Den pollenanalytiske undersøkelsen ved Dokkfløyvatn i Gausdal og Nordre Land, Oppland*. Varia 21. Oldsaksamlingen, Oslo.

1996 *Pollenanalytiske undersøkelser i "Østerdalsområdet" med hovedvekt på Rødsmoen, Åmot i Hedmark*. Varia 39. Oldsaksamlingen, Oslo.

Høigård Hofseth, Ellen

1979 Jernvinna – spontant eller organisert opptak? I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s. 73-81. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Jakobsen, Sigmund, Jan Henning Larsen og Lars Erik Narmo

1988 "Nå blestres det igjen jern ved Dokkfløy". Et forsøk på eksperimentell arkeologi. *Viking* LI:87-108.

Johansen, Arne B.

1979 Livbergingsmåter i fjelldalene. I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s. 82-90. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Karbowniczek, Mirosław, Władysław Weker og Ireneusz Suliga

2009 Experimental metallurgical process in a slag pit bloomery furnace. *euroREA*. 6/2009:45-49.

---

von Keesmann, Ingo og Andreas Kronz

2003 Schlacken verschiedener Stufen der Eisentechnologie. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 153-162. Aarhus University Press, Aarhus.

Keller, Christian

1979 Jernet som teknologisk nødvendig ressurs. I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s. 91-98. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Larsen, Jan Henning

1986 Graver fra førromersk jernalder på Øyvold, Farsund, Vest-Agder. *Universitetets Oldsaksamling Årbok 1984/85*. Oldsaksamlingens tryknings- og publikasjonsutvalg, Oslo.

1991 *Jernvinna ved Dokkfløyvatn*. Varia 23. Oldsaksamlingen, Oslo.

2003 Lokalt initiativ og jernvinneforskning i Snertingdal, Gjøvik kommune i Oppland. Et bidrag til forståelsen av jernutvinningen i eldre jernalder på Østlandet. *Viking LXVI*:79-104.

2009 *Faglig program bind 2. Jernvinneundersøkelser*. Varia 75. Kulturhistorisk museum, Fornminneseksjonen, Oslo. Utgis våren 2009.

Lemonnier, Pierre

1992 *Elements for an Anthropology of Technology*. Anthropological Papers No. 88. Museum of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor.

1993 Introduction. I *Technological Choices. Transformation in material culture since the Neolithic*, redigert av Pierre Lemonnier, s. 1-35. Routledge, London.

Lyngstrøm, Henriette

1997 In the Borderland of Archaeology – Experimental Forging. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 27-35. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

2003 Farmers, Smelters and Smiths. Relations Between Production, Consumption and Distribution of Iron in Denmark, 500 BC-AD 1500. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 21-25. Aarhus University Press, Aarhus.

2008 *Dansk Jern. En kulturhistorisk analyse af fremstilling, fordeling og forbrug*. Det kongelige nordiske Oldskriftselskab, København.

---

Løken, Trond

1979 (red.) *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

Martens, Irmelin

1988 *Jernvinna på Møsstrond i Telemark. En studie i teknikk, bosetning og økonomi*. Norske Oldfunn XIII. Oldsaksamlingen, Oslo.

1989 Roman period bloomery sites in Norway (Recent excavations). I *Archaeometallurgy of Iron*, redigert av Radomír Pleiner, s. 159-67. Comité pour la sidérurgie ancienne l'UISPP, Praha.

Melheim, Lene

2009 Kobberimport eller kobberproduksjon? I *Det 10. nordiske bronsealdersymposium: Trondheim 5.-8. okt. 2006*, redigert av Geir Grønnesby og Merete Moe Henriksen, s. 20-35. Vitark: acta archaeologica Nidrosiensia 6. NTNU Vitenskapsmuseet, Trondhjem.

van der Merwe, Nikolaas J.

1980 The Advent of Iron in Africa. I *The Coming of the Age of Iron*, redigert av Theodore A. Wertime og James D. Muhly. Yale University Press, London.

van der Merwe, Nikolaas J. og Minze Stuiver

1968 Dating Iron by the Carbon-14 Method. *Current Anthropology* 9(1):48-53.

Moberg, Carl-Axel

1976 Väster – Öster – Söder. I *När järnet kom*, redigert av Kjerstin Cullberg. Göteborgs Arkeologiska Museum, Göteborg.

Narmo, Lars Erik

1996 *Jernvinna i Valdres og Gausdal*. Varia 38. Universitetets Oldsaksamling, Oslo.

1997 *Jernvinne, smie og kullproduksjon i Østerdalen. Arkeologiske undersøkelser på Rødsmoen i Åmot 1994-1996*. Varia 43. Universitetets Oldsaksamling, Oslo.

Navasaitis, Jonas, Aušra Svaikauskaite, Algirdas Selskis og Eimutis Matulionis

2003 Ironmaking Techniques During the Roman Period in Lithuania. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 87-94. Aarhus University Press, Aarhus.

Nørbach, Lars Christian

1997 (red.) *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

---

2003 (red.) *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*. Aarhus University Press, Aarhus.

Orton, Clive, Paul Tyers og Alan Vince

1993 *Pottery in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.

Pilø, Lars

1991 Førromersk jernalder – fra en annen vinkel. *Viking* LIV.

Pleiner, Radomír

1980 Early Iron Metallurgy in Europe. I *The Coming of the Age of Iron*, redigert av Theodore A. Wertime og James D. Muhly, s. 375-416. Yale University Press, London.

1989 (red.) *Archaeometallurgy of Iron*. Comité pour la sidérurgie ancienne l'UISPP, Praha.

1989 1967-1987: The activity of the Comité pour la sidérurgie ancienne l'UISPP. I *Archaeometallurgy of Iron*, redigert av Radomír Pleiner, s. 5-8. Comité pour la sidérurgie ancienne l'UISPP, Praha..

2003 European Iron Blooms. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 183-189. Aarhus University Press, Aarhus.

Ploquin, Alain, Michel Arnold og Cécile Mahe-le-Carlier

2003 What Role do Electron Transfer and Silicate Melt Polymerisation Play in the Ironmaking Process? I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 119-124. Aarhus University Press, Aarhus.

Prestvold, Kristin

1994 Trøndelag i støpeskjeen. Jernproduksjon og sosial organisasjon i Nord-Trøndelag mellom 350 f.Kr. og 500 e.Kr. Upublisert hovedfagsoppgave, Universitetet i Oslo, Oslo.

1999 Trøndelag i støpeskjeen. Jernproduksjon og sosial organisasjon i Nord-Trøndelag mellom 350 f. Kr. og 500 e. Kr. *Gunneria* 75. NTNU Vitenskapsmuseet, Trondhjem.

Renfrew, Colin og Paul Bahn

2000 *Archaeology: Theories Methods and Practice*. 3. utgave. Thames & Hudson, London.

Reynolds, Peter J.

1999 The nature of experiment in archaeology. I *Experiment and Design: Archaeological Studies in Honour of John Coles*, redigert av Anthony F. Harding. Oxbow Books, Oxford.

---

de Rijk, Patrice

1997 On the influence of iron on prehistoric society – a model. I *Early Iron Production – Archaeology, Technology and Experiments*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 123-131. Historical-Archaeological Experimental Centre, Lejre.

Rosenqvist, Anna M.

1979 Utvikling av effektivitet av jernvinner som en funksjon av tida. I *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. AmS Varia 4: s. 37-49. Arkeologisk museum i Stavanger, Stavanger.

1988 Kjemiske og mineralogiske undersøkelser. I *Jernvinna på Møsstrand i Telemark. En studie i teknikk, bosetning og økonomi*, av Irmelin Martens, s. 165-189. Norske Oldfunn XIII. Oldsaksamlingen, Oslo.

Rostoker, William og Bennet Bronson

1990 *Pre-Industrial Iron: Its Technology and Ethnology*. Archaeomaterials Monograph 1, Philadelphia.

Rueslåttén, Håkon

1985 Dannelse av myrmalm. I *Frå malm i myra til stål i smia*, redigert av Ivar Berre, s. 31-37. Utgitt av prosjektgruppa "Jarnvinna" i samarbeid med skoledirektøren i Nord-Trøndelag, Namsos.

Rundberget, Bernt

2002 Teknologi og Jernvinne. En teoretisk og metodisk tilnærming til jernvinna som kilde for menneskelig kunnskap og handling. Upublisert hovedfagsoppgave, Institutt for arkeologi og kulturhistorie, Vitenskapsmuseet, Norges teknisk-vitenskapelige universitet, Trondhjem.

2007 *Jernvinna i Gråfjellområdet*. Varia 63. Kulturhistorisk Museum, Fornminneseksjonen, Oslo.

Rygh, Oluf

1999 [1885] *Norske Oldfunn*. Faksimileutgave 1999, uten sidetall. Tapir Forlag, Trondhjem.

Serning, Inga

1973 *Förhistorisk järnhantering i Dalarna*. Järnkontorets Forskning Serie H, nr. 9. Med bidrag av Hans Hagfeldt og Nils Holm. Bergshistoriska utskottet, Stockholm.

1976 Tidig järnframställning i Skandinavien. I *När järnet kom*, redigert av Kjerstin Cullberg, s. 41-78. Göteborgs Arkeologiska Museum, Göteborg.

---

Shepard, Anna O.

1968 *Ceramics for the Archaeologist*. 6. utgave. Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.

Sherratt, Andrew

1997 The Emergence of Élites: Earlier Bronze Age Europe, 2500-1300 BC. I *The Oxford Illustrated History of Prehistoric Europe*, redigert av Barry Cunliffe, s. 244-276. Paperback edition. Oxford University Press, Oxford.

Sigmond, Ellen M. O.

1985 *Berggrunnskart over Norge – M. 1:3 mill. Norges geologiske undersøkelse*. Tapir forlag og Norges geologiske undersøkelse, Trondhjem.

Solberg, Bergljot

2003 *Jernalderen i Norge*. Cappelen Akademisk Forlag, Oslo.

Solem, Thyra

1985 Pollenanalyse. Pollenanalytisk arbeid i forbindelse med jernvinna på Heglesvollen. I *Frå malm i myra til stål i smia*, redigert av Ivar Berre, s. 66-69. Utgitt av prosjektgruppa "Jarnvinna" i samarbeid med skoledirektøren i Nord-Trøndelag, Namsos.

Stenvik, Lars Fredrik

1991 Iron Production and Economic "Booms" During 2000 Years. I *Bloomery Ironmaking During 2000 Years*, vol. I, redigert av Arne Espelund, s. 100-115. Norges tekniske høgskole, Trondhjem.

1994 Samfunnsstrukturer i Trøndelag i jernalderen. I *Järnåldern i Mittnorden*, redigert av Kurt Gullberg. Scriptum, Vasa.

1996 Fra myrmalm til jern – teknologi med økonomisk overskudd. *SPOR* (1):28-30.

2003 a Recent Results from Investigations of Iron Production in Northern Europe. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe*, redigert av Lars Christian Nørbach, s. 77-82. Aarhus University Press, Aarhus.

2003 b Iron Production in Scandinavian Archaeology. *Norwegian Archaeological Review* 36(2):119-132.

Sulebak, Jan R.

2007 *Landformer og prosesser. En innføring i naturgeografiske tema*. Fagbokforlaget, Bergen

---

Taylor, Maisie

1981 *Wood in Archaeology*. Shire Publications, Aylesbury.

Tylecote, R. F.

1987 *The early history of metallurgy in Europe*. Longman, London.