

SLAGGEAFTAPNINGSOVNE I DANMARK, UDGRAVNINGER OG FORSØG

Henriette Lyngstrøm

Mange danske udgravninger, teoretiske diskussioner og eksperimentel-arkæologiske forsøg har taget sigte på at afgrænse jernudvindingssovnens kronologiske og typologiske udvikling.

Vi ved, at bønder i Danmark har udvundet jern af myremalm helt fra den tidligste jernalder, men det arkæologiske materiale fra ældre førromersk jernalder er begrænset til slagger, ristet myremalm og genstande af jern. Selve jernudvindingsovnen er kun kendt fra perioden mellem yngre førromersk jernalder og frem i ældre germansk jernalder – samt igen fra den tidlige middelalder. I disse to kronologiske forløb kan der identificeres tre typologisk forskellige ovne: Espevej-ovne, Drenghsted-ovne og slaggeaftapningsovne, der alle tilhører gruppen af vesteuropæiske skaktovne, mens de i den centraleuropæiske typologi er repræsentanter for henholdsvis skaktovne og aftapningsovne.

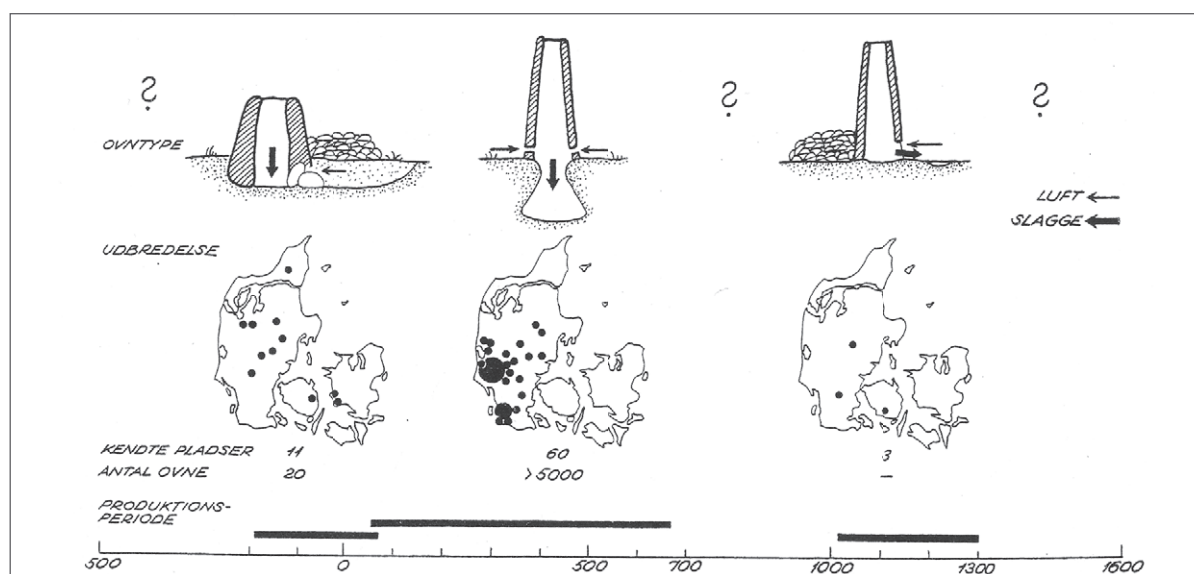
På seminaret *Ovnkronologi og ovnstypologi i den nordiske jernvinna*, Kittilbu 2009 blev de få danske fund af slaggeaftapningsovne vurderet og diskuteret, ligesom der blev gjort rede for, hvordan disse ovne fungerer i eksperimentel-arkæologiske jernudvindingsforsøg. Der blev også argumenteret for

en nuancering af de definerede ovntyper og for, at «typerne» ikke kun varierer i tid, men også i rum.

PROBLEMER I DEN DANSKE OVNSKRONOLOGI OG OVNSTYPOLOGI

Også i Danmark indtager jernudvindingsovnen en helt central plads i den arkæologiske jernforskning. De danske bønder udvandt jern af myremalm fra den tidligste jernalder, men det arkæologiske kilde-materiale fra år 500 til år 200 f.Kr. er begrænset til slagger, ristet myremalm og genstande af jern. Selve jernudvindingsovnen er i Danmark kun kendt fra omkring år 200 f.Kr. til år 550 e.Kr., samt igen fra 1100 til 1300 e.Kr.

Det er i disse to tidsforløb arkæologen Olfert Voss med forbilledlig klarhed har identificeret og dateret tre typologisk forskellige ovne: Espevej-ovne, Drenghsted-ovne og slaggeaftapningsovne (Voss 1993: 206). Og hans illustrative oversigt, hvor de numeriske værdier for Espevej-ovne og Drenghsted-ovne siden er væsentligt forøget, er gengivet i adskillige sammenhænge og står som printet på alle danske arkæologers nethinder (figur 1).



Figur 1: De tre forskellige typer jernudvindingsanlæg i Danmark og deres udbredelse i tid og rum. Olfert Voss' forbilledlige fremstilling fra 1993. Efter Voss 1993: 206.

Figure 1: The three different kinds of iron smelting furnaces found in Denmark and their distribution in time and space. Olfert Voss's fine figure from 1993. After Voss 1993: 206.

Gennemgangen af det arkæologiske materiale af jernudvindingsovne fra Danmark forleder da også til opfattelsen af et enstrengt typologisk udviklingsforløb. Fra endnu ukendte ovne i tidlig førromersk jernalder til Espevej-ovne i sen førromersk jernalder og ældre romersk jernalder, knyttet til gården og den lokale smeltemester; frem til de større, vestjyske landsbyer og enkeltgårde med Drengheds-ovne, hvor kyndige bønder i yngre romersk jernalder og ældre germansk jernalder producerede betydelige mængder jern; og videre til en sandsynlig slaggeaf-tapningsovn i middelalderen – en ovn, der endnu kun er fundet ganske få steder, men som meget vel kan repræsentere et teknologisk højdepunkt i den danske jernudvinding.

Der er ingen tvivl om, at dette må være hovedlinjerne i den typologiske udvikling (Lyngstrøm 2002: 18f). Men betragter man etnografiske paralleller og det arkæologiske materiale fra landene omkring os, så er der ingen tvivl om, at det enstrengede forløb skal modificeres og de opstillede typer bør nuanceres. Vigtigt er det, at jernudvindingen i hele Europa kontinuerligt – gennem jernalder og middelalder – synes at være organiseret omkring gården og landsbyen og som sådan er integreret i bebyggelsens helt centrale sociale og økonomiske strukturer. Men parallelt med landsbyens produktion af jern til nærområdet, så eksisterede der i perioder store jernudvindingspladser med adskillige, samtidige ovne, hvor produktionen må have været afhængig af interregionale mekanismer og sandsynligvis også af en højt specialiseret efterspørgsel på bestemte jernkvaliteter. Den efterspørgsel kan være kommet fra smedjer, der var knyttet til eliten og til militæret – og hvor jernet dermed blev et element i blandt andet den våbenteknologiske udvikling.

I den forbindelse kan det vestjyske, ganske fosforholdige myremalmsjern (ofte nær 0,9 % P), have spillet en central rolle. Fosforjern er hårdt, sprødt og glinsende gråt. Men det kan ikke hærdes og er næsten umuligt at opkulle. Mens «jern» er betegnelsen for et grundstof, er «stål» betegnelsen for et materiale. Myremalmsjernet kemiske sammensætning svarer ikke til den i moderne materialer, og derfor er det i denne artikel valgt at anvende benævnelsen «kulstofjern» og «fosforjern» om det jern, der indeholder mellem 0,1 og 0,9 % kulstof/fosfor.

Æggen på en kniv af fosforjern flosser nemt og kan være svær at holde skarp. Og tynde emner splintrer som glas, hvis de tabes på et hårdt underlag. I nutidens jernproduktion er fosfor et uønsket legeringselement, men i jernalderen synes smedene at have foretrukket fosforjern til en del opgaver.



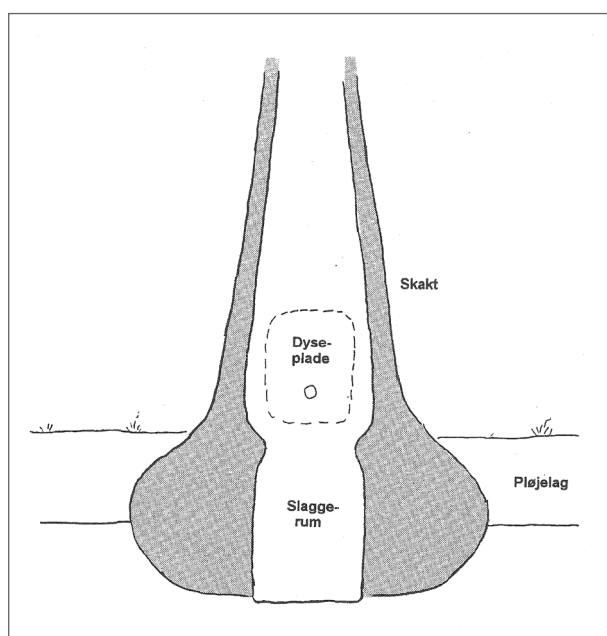
Figur 2: Rekonstruktion af halvrund kniv af fosforjern. Foto: M. Nielsen.

Figure 2: Reconstruction of a semi-circular knife of phosphorus iron. Photo: M. Nielsen.

Et eksempel er de halvrunde knive, der i århundrederne omkring Kristi fødsel blev smedet af to stykker stærkt fosforholdigt jern og hvor svejsningen med stor sikkerhed er lagt i knivens midterlinje. Det var velsmedede, sarte redskaber (figur 2). Fosforjern blev også kombineret med det rene jern i økser (Thomsen 1966: 906) og knive (Lyngstrøm 2008: nr. 46), hvor det kunne erstatte eller supplere kulstofjern. Og i våbensmedjerne var fosforjern sandsynligvis efterspurgt til de mønstersmedede sværd. Mønstersmedning er teknisk forholdsvis let at udføre i fosforjern, og resultatet fremstår smukt sølvfarvet på sværdenes ætsede og polerede klinger (Thomsen 1994: 283).

Fosforjern er endnu ikke behandlet fyldestgørende i en nordisk eller i en europæisk kontekst, men det er sikkert, at fosforjern besad et overordentligt stort potentiale, som vi i dag endnu ikke forstår det fulde omfang og de fulde konsekvenser af. Men sikkert er det, at den smeltemester, der kunne fremstille stabile leverancer fosforjern af sin myremalm, havde en særdeles købedygtig kundekreds. Den må fortrinsvis have bestået af erfarne smede tilknyttet specialiserede værksteder.

Som arkæologer må vi derfor være opmærksomme på, at den enkelte jernudvindingsovn og den enkelte gård eller landsby med jernudvindingsovne, kan repræsentere andet end blot et stadie i en kronologisk-teknologisk udvikling. Sikkert er det, at jernudvindingsovnens udformning – eller rettere: smeltemesterens valg af «ovntype» – afspejler råstoffernes tilgængelighed og især deres beskaffenhed. Men smeltemesterens håndværksmæssige formåen, hans ekspertise og den tradition han var oplært i og arbejdede i, må ligeledes have haft stor indflydelse



Figur 3: Ovn fra Sønder Holsted, forslag til rekonstruktion. Efter Voss 2002: 141.

Figure 3: The furnace from Sønder Holsted, a proposal for a reconstruction. After Voss 2002: 141.

på hans valg. Videre kan man tænke sig den mulighed, at «ovntypen» også afspejlede specifikke konsumentbehov, så en øget efterspørgsel og en øget produktion ikke alene behøvede at have resulteret i flere ovne og mere slagge, men også i ovne af et andet udseende og derfor også i slagge størknet i en anden form. For selvfølgelig kan en øget jernproduktion komme til udtryk i det arkæologiske materiale som større udvindingspladser, men den kan jo også finde sted som en omlægning af ressourceudnyttelsen. Det sker blandt andet i Jämtland og Dalarna i 400-tallet (Magnusson 1991: 156) og i 700-tallet i Østnorge (Johansen 1979: 89), hvor der findes spredte jagtredskaber og gravfund i ellers ubeboede fjeldstrøg. Og en ressourceomlægning til fordel for jernproduktion behøver ikke udelukke at have været et spørgsmål om at kunne overleve. Den kunne måske også udspringe af et ønske om at etablere og/eller fastholde en kulturform, som var almindelig i centrale og økonomisk stærke områder af det nuværende Danmark. Ser vi igen mod nord til Norge, så var det måske derfor, at jernudvinding og dyrehold blev sidestillede aktiviteter i vikingetid og tidlig middelalder på Møsstrand (Rosenqvist 1983: 134; Martens 1988: 123). En væsentlig del af arbejdskraften fra gården kunne her, alt efter årstidens andre arbejdsopgaver, investeres i en produktion af jern udover egetforbruget. De samme for-

hold er iagttaget på Heglesvollen, hvor mellem ti og 15 mand i perioder var beskæftiget med jernproduktionen i fire værkstedsområder (Stenvik 1987: 5). Denne sæsonmobilitet med rejse og ophold i udmarken kendes endnu ikke fra Danmark, hvor jernudvinding, rensning af jernsvamp og smedning altid synes at have været præget af nærhed og derfor er fuldt integreret i bebyggelsen. Men derfor kan mobilitet godt have haft stor betydning for den danske jernproduktion. Det iagttages blandt andet i Sydvestjylland, hvor etableringen af jernproduktionen i ældre germansk jernalder sættes i forbindelse med en regulær kolonisering af området (Smekalova og Voss 2001: 19).

Ovnen i Sønder Holsted – en ny ovntype, en undertype eller en lille del af mangfoldigheden?

Etablering af kronologier på baggrund af identificerede typer hører til arkæologens helt basale arbejdsmetoder. Det gælder, hvad enten det involverer fibler, lerkar, huse eller jernudvindingsovne. Og ovnskronologi og ovnstypologi er helt klart et brugbart redskab i arkæologien. Men desværre sker det alt for tit, at arkæologen – med typologien printet på nethinden – alene udgraver det forventelige.

Anderledes var det, da Olfert Voss og Ejvind Hetz i 2000 undersøgte en jernudvindingsovn på et bopladsområde fra ældre romersk jernalder (Kristi fødsel til år 150/60 e.Kr.) umiddelbart vest for Holsted Rådhus i Vestjylland. Ovnene blev udgravet på en lokalitet, hvor der såvel tidligere (1996) som senere (2002) er lokaliseret jernudvindingsovne. Ovnene fra Sønder Holsted synes at være forholdsvis ensartede anlæg, hvor specielt den ene var så velbevaret, at det kunne give adskillige oplysninger i forhold til en rekonstruktion (figur 3). Her var ovnens slaggerum nemlig bevaret til ca. 30 cm over bunden, og åbningens sider var forstærket med sten, hvor den sten, der vendte mod nord, var 35 cm høj og tydeligt varmepåvirket på siden ind mod ovnrummet. I en senere forstyrrelse (plantegningen nr. 5) blev fundet skaktdele, der kunne sættes sammen til et stykke af skaktens væg, der har dækket et område fra omkring 12 cm under til 15 cm over jordniveau (Voss 2002: 140). Arbejdsgruben foran ovnen (nr. 6) var nogenlunde cirkulær, næsten 1 m i diameter og placeret ca. 30 cm under den oprindelige jordoverflade. Gruben var skålformet og indeholdt mørkt fyld med mange små slaggestykker og få, ganske små, stykker trækul. Fyldet i slaggeafføbet (nr. 3) var nogenlunde det samme, men her fandtes også en del større slaggestykker. Nogle slagge var flade og havde en tydelig løbstruktur, men

ingen havde aftryk af trækul. Der var tilsyneladende ikke fremstillet en særlig bund i slaggeafløbet, for afgrænsningen mod undergrunden viste sig kun i form af rødbrændt sand.

Ovnen tilhører måske gruppen af tidlige ovne i Danmark: Espevej-ovnen, som blev anvendt i århundrederne omkring Kristi fødsel. Men det usædvanlige ved ovnen i Sønder Holsted er, at der aldrig tidligere er fundet ovndelev med forslagget inderside ved udgravninger af Espevej-ovne. Det kunne altså tyde på, at der enten var tale om en ny type eller, som Voss foreslår, at de tidligere rekonstruktioner af Espevej-ovnen skal revideres. Problemet er, at det i Sønder Holsted ser ud som om «ovnrømmet» i virkeligheden ikke var det sted, hvor reduktionen skete, men det sted, hvor slaggen løb hen: her havde temperaturen ikke været høj nok til, at ovnvæggen blev forslagget – den blev kun rødbrændt. Selve slaggesmeltningen – og dermed formodentlig også det sted, hvor lufttilførslen til ovnen skete – må være foregået højere oppe, et stykke over jordniveau. Med hensyn til konstruktionen af ovnen, så forestiller Voss sig, at

der blev gravet en 40–45 cm dyb, fladbundet grube med en diameter på ca. 100 cm, der blev fyldt med ler. I midten blev der så udsparet en cylinderformet grube, ca. 30 cm i diameter med en ca. 25 cm bred grube ud til en større fladbundet grube. Siderne af åbningen er mellem den centrale grube og arbejdsgruben forstærket med 1-2 flade sten. Den indsnævring, der er mellem selve ovnskakten og slaggerummet må, som det ses på stykket fra Sønder Holsted, sidde mindst 30 cm over bunden af slaggerummet og lige under jordoverfladen (Voss 2002: 140).

Diameteren i ovnens nederste del har højst været 35 cm. Ovnskaktens højde over jorden kendes ikke, men den er på rekonstruktionstegningen ført op i ca. 1 m højde.

Vi har prøvet at følge Voss' anvisninger og er i gang med at rekonstruere ovnen fra Sønder Holsted i fuld skala. Endnu er vi langt fra færdige med forsøget, men vi har udgravet en 45 cm dyb, cirkelformet grube med en diameter på 1 m og foret den med ler. Foran gruben har vi gravet ud til en fladbundet 30 cm dyb arbejdsgrube. Den er næsten cirkelformet med en diameter på 1 m. Mellem slaggerummet og arbejdsgruben er der gravet en 35 cm lang forbindelse (figur 4). Vi har brugt 230 liter undergrundsler æltet med vand og strå – og gravning af huller (med moderne spader), opgravning og æltning af ler samt bygning af ovnen har hidtil taget 24 arbejdstimer. Endnu er vi ikke nået til en rekonstruktion



Figur 4: Rekonstruktion af ovnen fra Sønder Holsted, Lejre 2009. Foto: H. Lyngstrøm.

Figure 4: The reconstruction of the furnace from Sønder Holsted, Lejre 2009. Photo: H. Lyngstrøm.

af ovnskakten, men vores diskussioner om ovnens nederste del har været særdeles frugtbar. For er det «Espevej-typen», der skal revideres? Er ovnen fra Sønder Holsted en helt ny type jernudvindingsovn? Eller er ovnen udtryk for en dygtig smelttemester, der har evnet at tilpasse ovnens form til de råstoffer han disponerede over og den ekspertice han besad: en lille del af den store mangfoldighed. Og er det så en ny «ovntype»?

De foreløbige eksperimentel-arkæologiske erfaringer med ovnen fra Sønder Holsted er yderst perspektivrige, og målet er at bygge den færdig, bruge den, udgrave den og sammenligne materialet med det originale. Forsøget er et godt eksempel på, hvordan eksperimentel arkæologi kan bidrage til en konstruktiv diskussion af ovnstypologien og dermed også af ovnskronologien.

SLAGGEAFTAPNINGSOVNE I DANMARK

Et vanskeligt dilemma for jernforskningen i Danmark er samfundets tilsyneladende stærkt øgede forbrug af jern gennem yngre germansk jernalder og vikingetid (år 550 til år 1000 e.Kr.) sammenholdt med den fuldstændige mangel på fund af samtidige jernudvindingsovne (Jensen 1999: 44ff). Teoretisk kunne forbruget alene have været baseret på jern indhandlet fra andre områder, men med den omfattende og almindelige produktion kort tid forinden, synes argumentet ikke holdbart (Voss 1993: 209). Mange smelttemestre og smede må på

overgangen mellem ældre og yngre germansk jernalder have besiddet en højt udviklet indsigt i de jernteknologiske processer. Denne indsigt må snarere – også under stabile politiske, økonomiske og sociale forhold – have resulteret i udvikling til ny og mere avanceret teknologi end i et stop for produktionen. Herkomstbestemmelse af jern på baggrund af jernets slaggeinklusioner i knive dateret til yngre germansk jernalder og vikingetid tyder da også på, at der stadig er produceret jern af den danske myremalm (Lyngstrøm 2008: tabel 14). Men hvorfor er der så ingen spor af jernudvindingsovne dateret til perioden mellem år 550 og 1100 e.Kr.? Årsagen kan være, at man har anvendt ovne, der var så lidt nedgravede, at de kun undtagelsesvist vil være bevaret. Slaggeaftapningsovnene står kun svagt i det materielle levn fra Danmark, men kan være en af de ovne, der i fremtiden vil supplere det arkæologiske kildemateriale for perioden yngre germansk jernalder, vikingetid og den tidligste middelalder. Ovnen synes at være eksponent for en driftssikker ovn med stor kapacitet, hvis anvendelse ikke nødvendigvis behøver at være knyttet til de store forekomster af myremalm i Vestjylland. Forsøg har vist, at den kan genbruges adskillige gange og at den er forholdsvis enkel at styre reduktionsprocessen i. Men den efterlader næsten intet arkæologisk kildemateriale i et intensivt opdyrket kulturlandskab som det danske. Hovedparten af de danske slaggeaftapningsovne er identificeret gennem slaggebunker fundet i skove. En systematisk gennemgang af områder dækket af gammel skov vil sandsynligvis kunne resultere i fund af flere ovne. Ved udgravningerne af hallerne i Gl. Lejre på Midtjylland blev der i et stolpehul fundet et større slaggestykke, der kan være en udvindingsslagge. Den er, ud fra trækul indesluttet i slaggen, ¹⁴C-dateret til omkring år 600 e.Kr. Og på en bebyggelse fra 900-tallet på Mikkelsbakke på Limfjordsøen Mors er der udgravet en fuldstændigt bevaret slaggeblok, der lå lige under pløjelaget. Den er 30-35 cm i diameter og vejer 12,5 kg (Voss 2002: 143f.). Måske er disse slagger dannet i slaggeaftapningsovne.

Fra den tidlige middelalder foreligger der skriftlige kilder om jernproduktionen. Som det gavebrev, ærkebiskop Absalon i 1197 udstedte til Sorø kloster. Heri omtales en landsby i Halland, Tvååker, hvor man kunne fremstille jern af jorden. Desuden nævnes flere teknologiske elementer som en *molendino ubi fabricatur ferrum* – en mølle, hvor jernet forarbejdes (Velle 2004: figur 38). Dette er udlagt som indicium på, at vandkraft blev udnyttet i produktionen, men arkæologiske udgravninger har vist,

at billedet er mere komplekst og også omfatter små ovne med et indhold svarende til 30 liter. Ovnene er slaggeaftapningsovne, og flere skaktdele har små, cirkulære huller – formodentlig beregnet til tuden af en blæsebælg (Strömberg 2004: figur 18-19; Velle 2004: figur 14-15). Udbyttet af en brænding anslås til 7-8 kg jernsvamp. Jernsvampen blev formodentlig løftet ud af ovnskakten med lange tænger, således at anlægget kunne genbruges. Ovnene i Tvååker er ¹⁴C-dateret til tiden omkring gavebrevets udstedelse.

Få ovne med slaggeafløb er professionelt undersøgt, og det arkæologiske kildemateriale efter dem er oftest registreret som slaggepletter eller slaggedynger. De er kun bevaret i gamle skovområder (Voss 1986a: 29), og der har endnu ikke været resurser til at opspore alle de lokaliteter, som de gamle jernforskere Niels Nielsen (1924) og Rasmus Mortensen (1940) omtaler. Derfor har de tilhørende ovne heller ikke kunnet bestemmes eller dateres.

Et eksempel på en arkæologisk undersøgelse stammer fra Jels Skov i Sønderjylland. Det er en halv meter høj slaggedyngge, der oprindeligt blev lokaliseret af Rasmus Mortensen, men siden er udgravet af Haderslev Museum i 1989. Det arkæologiske materiale fra Jels Skov omfatter såvel aflange aftapningslagger, plankonvekse lagger som keramikfragmenter (Voss 1986a: 29). En prøve af det trækul, der lå mellem slaggerne blev ¹⁴C-dateret til år 1030-1220 e.Kr. (Voss 1995: 28).

Aftapningslagger og plankonvekse lagger er også fundet i Nyvænge Skov på Sydvestfyn. I bunken, der var 6 m i diameter, fandt H.C. Frydendahl (1928: 61) også nogle få keramikfragmenter, der senere har kunnet dateres til 1300-årene. Han iagttog ingen spor af ovn- eller essekonstruktioner på stedet. Og i Løgager Skov i Midtjylland har Olfert Voss efter Niels Nielsens beskrivelse lokaliseret en slaggedyngge med aftapningslagger. I 1924 dannede slaggepletten

en skarpt afgrænset Højning. Da Marken henlaa i vedvarende Græsning, var Plettens Bevaringstilstand bedre end de øvrige Silkeborgpletters. Dimensionerne var ret betydelige, største Tværmaal 9 m, mindste 6 m; største tykkelse 86 cm Dyngens Volumen var i hvert Fald ikke under 20 m³, med en vægtfylde på 3,5 vil den altsaa veje mindst 70.000 kg (Nielsen 1924: 83).

Aftapningslagger er aflange slaggestykker, ofte med en brudflade i hver ende. De er karakteriseret ved en glat overside, hvor slaggen er størknet i løbstruktur, som stearin fra et lys, og på undersiden er der ofte fastsmeltet sand- eller gruskorn (figur 5). Det er slagge, der er størknet i ovns afløbsrender.



Figur 5: Fragment (21 cm) af aflang aftapningsslagge fra forsøg med udvinding i slaggeaftapningsovn, Lejre 1994. Foto: M. Nielsen.

Figure 5: Fragment (21 cm) of a long tapslag from one of the experiments with iron production in a slag-tapping furnace, Lejre 1994. Photo: M. Nielsen.

Og slaggeaftapningsovnen er da også, som navnet siger, en gruppe ovne, hvor slaggerne ikke, som i de fleste andre ovne, samler sig inde i ovnen, men ledes ud. Under indtryk af det øvrige skandinaviske materiale og af eksperimentel-arkæologisk arbejde må det empiriske materiale fra ovnen netop forventes at være karakteriseret af slagger størknet i «løb» på deres vej ud af ovnen.

Men på grund af den ødelæggelse af slaggedynger, som har fundet sted gennem tiderne og stadig finder sted i et intensivt opdyrket kulturlandskab som det danske, er det meget vanskeligt at belyse omfanget af jernproduktionen i slaggeaftapningsovne. Måske vil en genregistrering og undersøgelse af de tilbageværende dynger af slagger kunne føre til en nærmere beskrivelse af de ovne, de blev dannet i forbindelse med.

Slaggedyngen i Vattrup – en anden ovntype eller aftapningsslagge størknet i en anden form?

Slaggedyngen i Vattrup i Midtjylland er «den betydeligste Slaggeforekomst» af de 91 lokaliteter, Niels Nielsen registrerede for snart hundrede år siden. Det skete i forbindelse med doktordisputatsen *Studier over Jernproduktionen i Jylland* (Nielsen 1924). Dengang var bunken i Vattrup

en ellipseformet Forhøjning, 20 x 10 m stor. Slagge-lagets Tykkelse er i Midten 1 m og derfra jævnt aftagende ud mod Randene. Dets Volumen er i hvert Fald over 50 m³, og hvis Slaggenes Vægtfylde sættes til 3,5, bliver Vægten af det nuværende Slaggeindhold ca. 170,000 kg.

Men Nielsen samlede også efterretninger om, at en stor del af den allerede var fjernet inden opmålingen, og han gravede flere prøvehuller samt et 10 m langt og 3 m bredt snit igennem den:

Dyngens Indhold var næsten udelukkende Jærns-lagger, af ret smaa Dimensioner, i Regelen under 10 cm; imellem Slaggeerne fandtes lidt sort og stærkt sværende Jord, samt enkelte Lerklumper, Smaasten og Myremalmsklumpe (Nielsen 1924: 71f).

Allerede Nielsen arbejdede med forskellige ovntyper: herdgruber og lergryder. Og slaggeerne i Vattrup, der var små og størknet i tyndtflydende tilstand, karakteriserede han som et resultat af en udvinding i lergryde. De plankonvekse slagge så han som dannet i lergrydeovnens bund, 15-25 cm i diameter, og de mange «krumme Flager af magret Ler» tolkede han som den øverste del af lergryden, 40-50 cm i diameter. Til lergrydeovnen hørte endvidere «ejendommeligt formede Lerindretninger, der maa tydes som en Tud, der førte Luften fra Blæsebælgen ind i Ovnen» (Nielsen 1924: 146). Dem fandt han 92 af.

Interessant er det, at slaggebunken i Vattrup er genudgravet af Olfert Voss og Viborg Stiftsmuseum i 1992. Gravningen bekræftede til fulde Nielsens iagttagelser, idet der i det nu meget nedslidte anlæg blev fundet de samme kalotformede slagge, de samme krumme randstykker og de samme aftryk af blæsetude. Udgravningen blev suppleret af Robert Thomsens analyser af et tværsnit af randstykkernes slaggelag, og det viste sig, at det metalliske jern her udgjorde op imod 50 % af slaggelaget. Thomsen udførte også en analyse af det materiale, der havde sat sig omkring blæsetudene, der formodentlig har raget ind i ovnen. Også dette materiale indeholdt en ganske stor mængde metallisk jern. Randstykker og tude kan altså udmærket stamme fra samme anlæg. Vigtigt var det også, at Voss indsamlede trækul mellem slaggeerne. Det blev ¹⁴C-dateret til år 1305-1380 e.Kr. (Voss 1995: 31).

Men ganske bemærkelsesværdigt er det, at hverken Nielsen eller Voss fandt aflange aftapnings-slagge som dem, der blev fundet i Jels, Nyvænge og Løgager Skov. Måske er slaggeerne i Vattrup ikke dannet i en slaggeaftapningsovn. Eller måske er de, som Voss åbner mulighed for, tappet – ikke i render – men i fordybninger foran ovnen (Voss 1995: 34). Hvis det er tilfældet, er ovnene i Vattrup så en undertype af slaggeaftapningsovnen? Eller er de blot det materielle udtryk for en lille del af de mangfoldige måder, smeltemestrene kunne arbejde på?



Figur 6: Olfert Voss og Robert Thomsen (til højre) ved forsøg med jernudvinding på A/S Varde Staalværk 1963. Foto: Varde Lokalhistoriske Arkiv.

Figure 6: Olfert Voss and Robert Thomsen (right) during the experiments with iron production at A/S Varde Staalværk 1963. Photo: Varde Lokalhistoriske Arkiv.

FORSØG MED SLAGGEAFTAPNINGSOVNE

I Danmark er der foretaget adskillige forsøg ikke alene med slaggeaftapningsovne, men også med flere andre forskellige ovne. De tidligste egentlige eksperimentel-arkæologiske jernudvindinger fandt sted i 1963, da Robert Thomsen fra A/S Varde Staalværk besøgte en arkæologisk udgravning. Thomsen besigtigede udgravningerne på Drengsted i Sønderjylland på opfordring af Olfert Voss, der i begyndelsen af 1960'erne havde afdækket massive spor af jernudvinding på en bebyggelse fra ældre germansk jernalder (Voss 1986b; Mikkelsen og Nørbach 2003). Og under indtryk af de mange udvindingslagger, havde Voss rekonstrueret et par ovne med en grube under jorden og et lerrør – inspireret af det bemærkelsesværdige fund fra Scharmbeck (Wegewitz 1957) – over jorden (Voss 1962). Dernæst havde han inviteret ledelsen fra Varde Staalværk til at overvære et forsøg med at forvandle den lokale myremalm til jern.

Da Thomsen så de rekonstruerede ovne, mente han nok, at det ville være muligt at fremstille jern i dem. Men han mente også, at Voss havde brug for mere avancerede måleinstrumenter, hvis det skulle

lykkes. Og dem havde Thomsen hjemme på stålværkets laboratorium. Så han gik op til stålværkets direktion og bad om 4000 kr. til et jernudvindingsforsøg. Og det fik han. Stålværkets muremester gravede slaggegruber og byggede ovne inde på værkets område, og myremalmen hentede Thomsen, efter først at have analyseret den og fundet den velegnet, på mangansulfatfabrikken i Bolderslev. Den kostede ikke noget. I det hele taget mødte Thomsen en stor interesse for forsøgene. Mange mennesker bidrog med arbejdskraft og ekspertise – også Danmarks Radio fandt vej til Sydvestjylland og producerede fjernsynsudsendelsen *Højovnen på mosebund*, der i programomtalen for 27. oktober 1963 blev beskrevet som «et forsøg, der skulle efterprøve en teori om, hvordan jernaldermennesket smeltede jern i Danmark» (figur 6).

For Thomsen og Voss blev rekonstruktionen af ovnene fra Drengsted begyndelsen til et langvarigt og frugtbart samarbejde om blandt andet eksperimentel jernudvinding, hvor resultaterne af deres forsøg besvarede to helt centrale spørgsmål for 1960'ernes akademiske diskussion om jernalderens jernudvinding:

For ja – det var muligt at udvinde jern af myremalm i en ovn rekonstrueret på baggrund af et arkæologisk materiale. Det lykkedes nemlig Thomsen at vedligeholde reduktionsprocessen kontinuerligt i 60 timer og at reducere 46 kg ristet myremalm og 110 kg trækul til 5 kg jernsvamp. Af jernet smedede han 15 pilespidser, af samme form og størrelse som dem, der var udgravet i det store våbenofferfund i Ejsbøl Mose.

Og ja – reduktionsprocessen forløb anderledes, end man hidtil havde forestillet sig. Det var nemlig Thomsen og Voss, der som de første så, hvordan jernet i de rekonstruerede ovne dannede sig som en fast jernsvamp over den flydende slagge og ikke, som man ellers havde ment, som flydende jern under en flydende slagge. Derved kom slaggen til at ligne den, man fandt ved de arkæologiske udgravninger, og de kunne konkludere, at langt hovedparten af slaggeblokkene i Drengsted lå, som de var efterladt efter udvindingen – og ikke var væltet om, som man ellers antog dengang for 50 år siden.

Thomsens arbejde kom til at trække et betydningsfuldt spor gennem dansk jernforskning. Op gennem 1970'erne og 1980'erne besøgte han udgravninger, museer og symposier for at samle komparativt materiale. Først til sine forsøg, senere til sine mange metallurgiske analyser af forhistoriske jerngenstande. Thomsen var en pioner inden for den eksperimentelle jernforskning, og hans arbejder viste eksperimentets fulde potentiale for den humanistiske videnskab og understregede betydningen af et kontinuerligt tværvideenskabeligt samarbejde (Lyngstrøm 2002a).

I Danmark er forsøgsarbejdet fortsat med rekonstruerede Espevej-ovne, Drengsted-ovne, slaggeaftapningsovne og grubeovne. Mange forsøg er udført af spejdere, aftenskolehold eller af personale på landets mange oplevelsescentre, hvor jernudvinding og smedning er aktiviteter, der trækker et stort besøgstal (Egeberg 1998: 11). Egentlige videnskabelige eksperimenter er udført på Danmarks Tekniske Universitet (Buchwald 1991), på Aarhus Universitet, Moesgård (Lund 1988; Lund og Jouttijärvi 1999) og på Historisk-Arkæologisk Forsøgscenter i Lejre, der fra 2009 hedder Sagnlandet Lejre (Lyngstrøm 2002a: 51ff).

Først ristes malmen på et åbent bål, ganske som beskrevet af Ole Evenstad (Evenstad 1790). Ved ristningen gennemgår myremalmen en række fysiske og kemiske ændringer, der er til gavn for den efterfølgende reduktionsproces. Således fordamper vandet, og alle organiske bestanddele forkuller. Derved øges porøsiteten. Ristet myremalm knuses let i de små

stykker, der er den mest hensigtsmæssige størrelse i ovnen, og myremalmens kemiske sammensætning ændres fra en dårligt defineret mineralblanding til en relativt veldefineret blanding af hæmatit, goethit og magnetit (Buchwald 1991: 2). Ristet myremalm er mørk rødbrun, porøs, let og magnetisk. Samtidigt forvarmes ovnen. Derefter fyldes den med trækul samt myremalm, og temperaturen øges ved kunstig eller naturlig blæst. Når temperaturen er steget til nær 1200°C, begynder slaggen at flyde. Der fyldes trækul og ristet myremalm i ovnen gentagne gange – ofte i vægtforholdet 1½:1 eller 1:1. Processen varer mellem 10 og 30 timer, afhængig af forsøgets målsætning og processens forløb.

Ved de danske forsøg med jernudvinding er det sket, at ovnen ikke er blevet tilstrækkelig, eller for ujævnt, varm og slaggen derfor er størket oppe i skakten. Man har derfor eksperimenteret med forskellige størrelser trækul, måder at fylde ovnene på og med udformningen af halmproppen i Drengsted-ovnen. Der er desuden eksperimenteret med anvendelsen af træ i stedet for trækul, med tilførslen af luft, med ovnskaktens højde og med fyldningsrytmen.

Skønt tilsvarende forsøg er udført i blandt andet Norge (Jakobsen *et al.* 1988; Berre 1985; Larsen 2009: 22ff), Sverige (Englund 2002), Tyskland (Leineweber og Lychatz 1998), England (Cleere 1990; Crew 1990), Estland (Peets 2003: 131ff), Polen (Nosek 1992), Tjekkiet (Pleiner 1991) og Ungarn (Souchopova & Stransky 1990), så er Danmark stadig centralt placeret i den eksperimentel-arkæologiske udforskning af jernudvindingen.

På baggrund af de få danske slaggefund og med blik for de samtidige norske ovne, har man forsøgt at konstruere en skaktovn med slaggeafløb. Skakten blev her bygget over en lav fordybning i jorden, ikke mere end 10 cm, og ovnen blev med fordel placeret på et let skrånende terræn. Der giver et naturligt afløb for slaggen. Omkring fordybningen bygges en knap en meter høj lerskakt, der i faldretningen forsynes med et hul i jordniveau. Under udvindingen løber slaggen gennem hullet ud i en rende og videre ned i en lille fordybning foran ovnen. På den måde dannes såvel aflange og plankonvekse aftapnings-slagger, der, efterhåndensom processen skrider frem, brydes op for at give plads til ny slagge. Ovnskakten kan bruges flere gange, da kun en lille del af skakten slås i stykker efter brændingen og jernsvampen fjernes gennem hullet. Inden næste brænding repareres ovnen nemt (Lyngstrøm 2002a: 47). I det følgende skal omtales to forsøgsrækker, der er udført i Lejre, 2008 og 2009.



Figur 7: Slaggeaftapningsovn i anvendelse, Lejre 2009. Foto: H. Lyngstrøm.

Figure 7: Slag-tapping furnace in use, Lejre 2009. Photo: H. Lyngstrøm.

Forsøg med slaggeaftapningsovne i 2008 og 2009

Forsøgene i 2008 (HAF j.nr. 17/08) og 2009 (HAFF j.nr. 04/09) blev begge udført på baggrund af tidligere forsøg i Historisk-Arkæologisk Forsøgscenter (fra 2009 Sagnlandet Lejre), hvor det primære mål var at dokumentere en mulig sammenhæng mellem den kemiske sammensætning i jernets slaggeinklusioner i det færdige redskab og den kemiske sammensætning i udvindingsslaggerne (Blakelock *et al.* 2009). Der blev derfor ikke alene udvundet jern ved forsøgene, men jernsvampene blev også rensset til jernbarrer og barrierne smedet til redskaber, hvis slaggeinklusioner blev analyseret. Det sekundære mål med forsøgene var at karakterisere forskellene geografisk.

Målet for udvindingen var således *ikke* at producere så meget jern som muligt, men 1) at producere en moderat mængde jern til a) videreforarbejdning og til b) metallurgisk analyse af slaggeinklusionerne som referenceramme for et større arbejde med herkomstbestemmelse af dansk myremalmsjern; og 2) at producere en slagge, der såvel morfologisk som kemisk kunne fungere som komparativ reference-

ramme i forhold til forhistoriske og tidligt historiske slagger.

Forsøgene med jernudvinding blev foretaget i slaggeaftapningsovne alene af den grund, at det er den ovn, vi har størst erfaring med, og fordi den ved tidligere forsøg har vist sig som en meget driftssikker ovn (figur 7).

Begge år blev der bygget to slaggeaftapningsovne. I 2008 fordi vi ville prøve at drive to ovne samtidigt, i 2009 fordi ovnen blev udsat for hærværk og måtte genopføres. Ovnene blev bygget på en sydvestvendt skråning ned mod en sø tæt udenfor jernalderlandsbyen i forsøgscenteret. Området har tidligere været anvendt til jernudvinding. Den første ovn i 2008, anvendt til brændingerne 2008:I og 2008:II, blev bygget som slaggeaftapningsovn uden forplade af 90 liter ler gravet ud af skrænten bag smedjen i værkstedsområdet. Leret blev æltet med tre bundter (diameter ca. 15 cm) langt, visstent græs og vand hentet fra søen. Skakten blev bygget over en 10 cm fordybning og havde en indre bunddiameter på 40 cm. Dens vægge var 8 cm tykke og dens højde var 90 cm. Den indre diameter i toppen var 30 cm. Ovnene var forsynet med to indblæsningshuller, der var placeret under hensyntagen til bælgens placering i terrænet og 5 cm over jordniveau. På den første arbejdsdag blev ovnen bygget op i 50 cm højde og dækket til med presenning. Fire dage senere blev ovnen bygget færdig og der blev gravet ud til ristningsbål.

Den anden ovn i 2008, anvendt til brændingen 2008:II, blev bygget som slaggeaftapningsovn uden forplade af 85 liter ler gravet ud af skrænten bag smedjen i værkstedsområdet. Leret blev æltet med fire bundter (diameter ca. 15 cm) langt, visstent græs og vand hentet fra søen. Skakten blev bygget over en 10 cm fordybning og havde en indre bunddiameter på 35 cm. Dens vægge var 8 cm tykke og dens højde var 95 cm. Den indre diameter i toppen var 30 cm. Ovnene var forsynet med to indblæsningshuller, der var placeret under hensyntagen til bælgens placering i terrænet og 5 cm over jordniveau. På den første arbejdsdag blev ovnen bygget op i 40 cm højde og dækket til med presenning. Syv dage senere blev ovnen bygget færdig.

De dage, hvor vi brændte, begyndte vi tidligt med at forvarme ovnen og riste myremalmen. Ovnene blev forvarmet med kløvet brænde af løvtræ, og til ristningen anvendtes brænde i større dimensioner, men ligeledes løvtræ. Ved selve brændingen anvendte vi specialbrændte kul af bøgetræ, der blev sorteret til en mindste størrelse på 5 cm længde.

I 2008 omfattede forsøgene tre udvindinger med

Lejre 12.08.08		Myremalm fra Guldforhoved								
Trækul	18	7		4½		4		4		37½
Ristet malm		10		11		8		7		36
Blæst			x		x		x		X	4
Tid	0	2:05	2:10	3:20	3:40	4:10	5:25	5:55	7:10	7:45

Table 1: Udvinde 2008: I, hvor der af 36 kg ristet myremalm fra Guldforhoved blev udvundet en jernsvamp på 5 kg. Jernsvampen blev rensed til 455 g jernbarrer.

Table 1: Iron smelting 2008: I, where 36 kg of roasted bog ore from Guldforhoved were smelted to create a 5 kg iron bloom. The bloom was forged into a 455 g bar of iron.

Lejre 11.10.08		Myremalm fra Gødsvang								
Trækul	10	10	8		10½		10			48½
Ristet malm			3		10		7			20
Blæst				x		x		x		3
Tid	0	1:25	1:55	2:40	3:25	5:25	6:40	7:05		7:45

Table 2: Udvinde 2008: II, hvor der af 20 kg ristet myremalm fra Gødsvang blev udvundet en jernsvamp på 4 kg.

Table 2: Iron smelting 2008: II, where 20 kg of roasted bog ore from Gødsvang was smelted into a 4 kg iron bloom.

Lejre 11.10.08		Myremalm fra Usserød				
Trækul	10	11		9		37½
Ristet malm		6		5		11
Blæst			x		x	2
Tid	0	1:40	2:35	4:00		7:45

Table 3: Udvinde 2008: III, hvor 11 kg ristet myremalm fra Usserød brændte.

Table 3: Iron smelting 2008: III, where 11 kg of roasted bog ore from Usserød was burned.

myremalm gravet op i henholdsvis Guldforhoved (i Midtjylland), Gødsvang (i Sydvestjylland) og Usserød (i Nordsjælland), hvoraf de to første forløb tilfredsstillende og der blev fremstillet henholdsvis 5 og 4 kg jernsvamp. Den tredje slaggeaftapningsovn, den med myremalmen fra Usserød, brændte sammen.

Til brænding 2008:I og 2008:II anvendtes samme ovn. Vi blæste begge gange diskontinuerligt og ovnen blev hurtigt ensartet varm. Efter anden blæsning begyndte slaggen at løbe. Ovnene kunne godt have været anvendt til flere brændinger, da vi kontinuerligt reparerede den med en opslemmet lerblandning.

Brænding 2008:III mislykkedes primært for-

di vi var for uopmærksomme og nok også fordi vi havde for mange uerfarne på holdet den dag. Heldigvis var omstændighederne ved sammenbrændingen de bedst mulige: den skete i skumringen, netop som en familie fra den rekonstruerede jernalderlandsby og Lejres fotograf var på besøg på pladsen. Fotografen fik et par fine stemningsbilleder af en jernalderdragtklædt familie samlet om den gnistrende ovn med søen og landsbyen som baggrund (figur 8).

Jernsvampen 2008:I blev efterfølgende rensed til jernbarrer og smedet til genstande. I rensningsprocessen var målet at 1) producere en jernbarre egnet til videreforarbejdning og 2) at karakterisere rensningsslaggen (såvel esseslaggen som amboltslaggen)



Figur 8: Jernet brænder i slaggeaftapningsovn 2008:III, Lejre 2008. Foto: M. Nielsen.

Figure 8: The iron burns in the slag-tapping furnace 2008:III, Lejre 2008. Photo: M. Nielsen.

morfologisk og metallurgisk. I smedeprocessen var målet at 1) efterligne og reflektere over forhistoriske og tidligt historiske smedeprocesser og 2) at karakterisere smedeslaggen (såvel esseslaggen som amboltslaggen) morfologisk og metallurgisk.

Jernet i de 5 kg jernsvamp var ikke sammenhængende, men der blev udvalgt 3975 g jernsvamp fordelt på syv stykker. De blev rensset til i alt 455 g jernbarrer. Efter rensningen blev der opsamlet 1007 g frasprængte stykker jernsvamp, slaggeflager og slaggekugler. Amboltslaggen blev indsamlet og beskrevet zone for zone og prøver udtaget til metallurgiske analyse. I essen lå en slagge på 359 g.

Derefter smedede smedene Jokum Lind Jensen og Aron Hvid 13 emner af disse jernbarrer og af jern udvundet af myremalm fra St. Dyrehave (i Nordsjælland, HAF j.nr. 12/00) og af en anden jernsvamp af myremalm fra Guldforhoved (HAF j.nr. 07/01). De fleste af emnerne var kopier af knive, der er fundet i de sen førromerske jernaldergrave på Lønhøjgårdsvej i Vestjylland. Men der blev også smedet genstande, der ikke var kopier, men alene blev smedet for at prøve myremalmsjernets egenskaber i forbindelse med smedning af snoede og meget tynde emner (skafter, fiskekroge og nåle)

(figur 9). De fleste genstande var kopier af førromerske knive og derfor smedet af ét lag jern med lavt indhold af kulstof. Rensning og smedning blev udført i en «moderne» smedje.

I 2009 blev ovnene bygget på den samme sydvestvendte skråning i Lejre. Den første, anvendt til brændingen 2009:I, blev bygget som slaggeaftapningsovn med forplade af 100 liter ler gravet ud af skrænten bag smedjen i værkstedsområdet. Leret blev æltet med en balle snittet halm og vand hentet fra søen. Skakten blev bygget over en 10 cm fordybning og havde en indre bunddiameter på 49 cm. Dens vægge var 9 cm tykke forneden og 5 cm tykke foroven. Skaktens højde var 98 cm. Den indre diameter i toppen var 45 cm. Forpladen var 30 cm bred og dens maksimale højde var 25 cm. Ovnene var forsynet med to indblæsningshuller, der var placeret under hensyntagen til bælgens placering i terrænet og 4 cm over jordniveau. Huller til temperaturmålinger var placeret hhv. 30 og 60 cm over jordniveau. På den første arbejdsdag blev ovnen bygget op i 50 cm højde og dækket til med presenning. To dage senere blev ovnen bygget færdig og der blev gravet ud til ristningsbål.

Da denne ovn blev ødelagt af hærværk, blev der



Figur 9: Genstande smedet af myremalmsjern udvundet i slaggeaftapningsovne, Lejre 2008. Foto: H. Lyngstrøm.

Figure 9: Artefacts forged of bog ore iron from a slag-tapping furnace, Lejre 2008. Photo H. Lyngstrøm.

bygget en ny til 2009:II. Også den blev bygget som slaggeaftapningsovn med forplade af 100 liter ler gravet ud af skrænten bag smedjen i værkstedsområdet. Leret blev æltet med en balle snittet halm og vand hentet fra søen. Skakten blev bygget over en 23 cm fordybning og havde en indre bunddiameter på 47 cm. Dens vægge var 9 cm tykke forneden og 7 cm tykke foroven. Skaktens højde var 115 cm. Den indre diameter i toppen var 25 cm. Forpladen var 30 cm bred og dens maksimale højde var 25 cm. Ovnene var forsynet med to indblæsningshuller, der var placeret under hensyntagen til bælgens placering i terrænet og 4 cm over jordniveau. Huller til temperaturmålinger var placeret hhv. 30 og 60 cm over jordniveau.

På den første arbejdsdag blev ovnen bygget op i 50 cm højde og dækket til med presenning. To dage senere blev ovnen bygget færdig og der blev gravet ud til ristningsbål.

De dage, hvor vi brændte, begyndte vi tid-

ligt med at forvarme ovnen og riste myremalmen. Ovnene blev forvarmet med trækul, og til ristningen anvendtes brænde af løvtræ i store dimensioner. Ved selve brændingen anvendte vi igen specialbrændte kul af bøgetræ, der blev sorteret til en mindste størrelse på 5 cm længde.

I 2009 omfattede forsøgene to udvindinger med myremalm gravet op i henholdsvis Rønkilde og Guldforhoved (begge Midtjylland). Begge forløb tilfredsstillende og der blev fremstillet henholdsvis ½ og 1½ kg jernsvamp.

Efterfølgende blev der fra 2008: II udtaget 1,5 kg jernsvamp og 3,4 kg slagge. 0,5 kg af jernsvampen blev rensset til 300 g jernbarre, mens slaggen blev karakteriseret, udvalgte stykker gemt og prøver udtaget til metallurgisk analyse. Det var blandt andet 63 g af dette jern, der blev anvendt i forsøg med trækning af myremalmsjern.

Udvindingerne i 2008 og 2009 producerede en sværm af prøvemateriale, der nu opbevares på SAXO-instituttet, Københavns Universitet. Analyser af myremalm, slagge fra rensning og slagge fra smedning fra de klart definerede lokaliteter vil kunne bidrage til at sandsynliggøre en kemisk sammenhæng mellem udvindingsslaggen og slaggeinklusionerne i forhistoriske genstande af jern. Og slaggeaftapningsovnen viste sig som en pålidelig leverandør af jernsvamp.

OVNSKRONOLOGI OG OVNSTYPOLOGI

Det er vigtigt, at vi som arkæologer fastholder, at ovnskronologi og ovnstypologi alene er et *redskab* for udforskningen af den tidlige jernteknologi. Ikke målet i sig selv. Den enkelte jernudvindingsovn og den enkelte gård eller landsby med jernudvindingsovne repræsenterer andet end blot et stadie i en kronologisk-teknologisk udvikling. For smeltmesterens valg af «ovntype» afspejler råstoffernes tilgængelighed og beskaffenhed. Men den afspejler også hans håndværksmæssige formåen, hans ekspertise og den tradition han var oplært i og arbejdede i. Det er muligt, at valget af «ovntype» ligeledes afspejlede specifikke konsumentbehov: en øget efterspørgsel – eller en efterspørgsel efter jern i bestemte kvaliteter.

De hidtidige fund af slaggeaftapningsovne i Danmark er få og næsten udelukkende identificeret på slaggerne. Årsagen kan være, at det var ovne, der var så lidt nedgravede, at de kun undtagelsesvist vil være bevaret i et intensivt opdyrket kulturlandskab som det danske. Men ovnen synes at være eksponent for en driftssikker ovn med stor kapacitet, hvis anvendelse ikke nødvendigvis behøver at

Lejre 21.06.09		Myremalm fra Rønkilde								
Trækul	10	20	5½	6	5	5	3½	5	10	60
Ristet malm			1½	1½	1½	1½	1½	1½		9
Blæst		Kontinuerligt								
Tid	0	3:25	4:45	5:25	5:55	6:25	6:40	7:45	8:10	

Table 4: Udvinning 2009: I, hvor der af 9 kg ristet myremalm fra Rønkilde blev udvundet en jernsvamp på ½ kg.

Table 4: Iron smelting 2009: I, where 9 kg of roasted bog ore from Rønkilde was smelted into a ½ kg iron bloom.

Lejre 22.08.09		Myremalm fra Guldforhoved								
Trækul	5	25	6		6		6		6	54
Ristet malm			4,4		4,3		4,3		1,5	14½
Blæst		x		x		x		x		4
Tid	0	1:30	2:15	3:25	4:05	5:55	6:30	8:25	8:50	9:20

Table 5: Udvinning 2009: II, hvor der af 14½ kg ristet myremalm fra Guldforhoved blev udvundet en jernsvamp på 1½ kg.

Table 5: Iron smelting 2009: II, where 14½ kg of roasted bog ore from Guldforhoved was smelted into a 1½ kg iron bloom.

være knyttet til de store forekomster af myremalm i Vestjylland. Forsøg har vist, at den kan genbruges adskillige gange og at den er forholdsvis enkel at styre reduktionsprocessen i.

SUMMARY

Many Danish excavations, theoretical discussions and experimental archaeological studies have aimed to identify the chronological and typological changes in the iron smelting furnace. This is a difficult task, especially when it comes to the furnaces from the Viking Age and from the early Medieval times. We know that farmers in Denmark produced iron from bog iron ore right from the earliest Iron Age, but the archaeological material from the older Pre-Roman Iron Age is limited to slag, roasted bog iron ore and needles and knives made of iron. The iron smelting furnace itself is only known from the time between the late Pre-Roman Iron Age and the early Migration Period - and again from the late Viking Age and the centuries after. The archaeologist Olfert Voss has identified three typologically different furnaces in Denmark: Espevej-furnaces, Drenghed-furnaces and slag-tapping furnaces. They all belong to the group of Western European shaft-furnaces.

In this paper attention is drawn to the almost unknown Danish slag-tapping furnace. As seen from experimental archaeology, this furnace seems

to be easy to build and operate, but it leaves almost no trace in a landscape as intensively cultivated as Denmark's. That may be the reason why they are so few in numbers and almost exclusively identified due to small heaps of slag and to small fragments of furnace wall found between the slag. All slag heaps are, when possible, dated to the late Viking Age and to a couple of centuries after this period. But experiments have shown that the slag-tapping furnace seems to have a large capacity and that it is easy to control the reduction in it - especially compared to the Espevej-furnace and to the Drenghed-furnace. Its shaft may even be re-used several times. Metallurgical and historical records shows that iron was produced in Denmark between AD 1000 and 1500 and these small, and yet almost unknown, slag-tapping furnaces may have been the furnaces used. And their use is not necessarily linked to the large deposits of bog iron ore in Western Jutland. Maybe many slag-tapping furnaces are still waiting to be excavated. Judging from this work, the empirical material from this furnace may be expected to be characterized by long tap slags - and perhaps planoconvex slags - where the surfaces are marked by run-off.

LITTERATUR

- Blakelock, E., M. Martín-Torres, H.A. Veldhuijzen og T. Young 2009. «Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study». *Journal of Archaeological Science* 36 (2009): 1745–1757.
- Berre, I. (red.) 1985. *Frå malm i myra til stål i smia*. Namsos.
- Buchwald, V.F. 1991. «Dansk jernframställning». *Forntida Teknik* 1991/1: 49–60.
- Cleere, H. 1990. «Iron Smelting Experiments: Towards a Systematic Policy for International Cooperation». *Archéologie Expérimentale*: 45–47.
- Crew, P. 1990. «Experimental Iron Smelting and Bloom Smithing, linked to archaeological evidence from two sites in North Wales». *Archéologie Expérimentale*: 160–164.
- Egeberg, T. 1998. «Smedens spådom». *FRAM*: 9–14.
- Englund, L.-E. 2002. *Blästbruk*. Stockholm: Järnkontoret.
- Evenstad, O. 1790. *Afhandling om Jern-Malm som findes i Myrer og Moradser i Norge, og Omgangsmåden med at forvandle den til jern og Staal.*(= Det Kgl. Danske Landhuusholdnings-Selskabs Skrifter D3). København. Frydendahl, H.C. 1928. «En Undersøgelse af fortidens Jernudvinding paa den fynske Øgruppe». *Fynsk Hjemstavn* 1: 58–62.
- Jakobsen, S., J.H. Larsen og L.E. Narmo 1988. «'Nå blestres det igjen jern ved Dokkfloy'. Et forsøk på eksperimentell arkeologi». *Viking LI*: 87–108.
- Jensen, P.H. 1999. «Hvordan gjorde de?» *Brudstykker fra Blichereggen. Årsskrift Blichereggen Museumsforening* 1999: 44–50. Thorning.
- Johansen, A.B. 1979. «Livbergingsmåter i fjelldalene». *Jern og jernvinne som kulturhistorisk faktor i jernalder og middelalder i Norge*. *AmS Varia* 4. Stavanger: Arkeologisk museum Stavanger.
- Larsen, J.H. 2009. *Jernvinneundersøkelser*. *Varia* 78. Oslo: Kulturhistorisk museum.
- Leineweber, R. og B. Lychatz 1998. «Versuche im Rennofen – eine Bilanz 2. *Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte* 80: 263–304.
- Lund, J. 1988. «Eksperimentel arkæologi – resultater, muligheder og perspektiver». I Madsen, T. (red.). *Bag Moesgårds Maske*. Århus.
- Lund, J. og A. Jouttijärvi 1999. «Jernudvindingsforsøg på Moesgård». I Høiris, O., H.J. Madsen, T. Madsen & J. Vellev (red.). *Menneskelivets mangfoldighed. Arkæologisk og antropologisk forskning på Moesgård*: 193–202. Moesgård.
- Lyngstrøm, H. 2002a: «Myremalmens Mestre. Ved jernalderbonden ovn og esse». *Forsøg med Fortiden* 8. Lejre.
- Lyngstrøm, H. 2002b. «Thomsen, slagterne og den eksperimentel-arkæologiske metode». *Drik – og du vil leve skønt*. Festskrift til Ulla Lund Hansen på 60-årsdagen. Publications from the National Museum PNM Studies in Archaeology & History 7: 131–138. København.
- Lyngstrøm, H. 2008. *Dansk jern – en kulturhistorisk undersøgelse af fremstilling, fordeling og anvendelse*. Nordiske Fortidsminder, serie C, nr. 5. København: Det Kongelige Nordiske Oldskriftselskab.
- Magnusson, G. 1991. «Jernproduktion och järndistribution i Östersjöområdet». I Fabech C. & J. Ringtved (red.). *Samfundsorganisation og Regional Variation*: 153–161.
- Martens, I. 1988. *Jernvinna på Møsstrand i Telemark. En studie i teknikk, bosetning og økonomi*. *Norske Oldfunn XIII*. Oslo: Oldsaksamlingen.
- Mikkelsen, P.H. og L.C. Nørbach 2003. *Drengsted. Bebyggelse, jernproduktion og agerbrug i yngre romersk og ældre germansk jernalder*. Jysk Arkæologisk Selskabs Skrifter 43. Aarhus.
- Mortensen, R. 1940. *Jysk Jærn. Jyske Samlinger* 5:IV.
- Nielsen, N. 1924. *Studier over Jærnproduktionen i Jylland*. København: Arnold Buscks boghandel.
- Nosek, E. 1992. The Polish smelting experiments in furnaces with slag pits. I. Craddock P.T & M.J. Hughes (red.). *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*: 165–177.
- Peets, J. 2003. *The Power of Iron*. Tallinn: Universitetet i Tartu.
- Pleiner, R. 1991. «Bemerkungen zu einigen Schmelzversuchen in frühmittelalterlichen Rennöfen in der Tschechoslowakei». *Experimentelle Archäologie Bilanz* 1991. I Fansa, M. (red.). *Archäologische Mitteilungen aus Nordwest-Deutschland* 6. Oldenburg.
- Rosenqvist, A.M. 1983. «Report on Chemical and Mineralogical Analyses of Norwegian Ores, Slags and Iron». *Offa* 40. Neumünster. 129–137.
- Smekalova, T. og O. Voss 2001. «Snorup-området – jernproduktion i Vestjylland». *Mark og Monte*: 7–20. Ribe.
- Souchopova, V. og K. Stransky 1990. «Versuchsschmelzen in Rekonstruktionen von Rennöfen aus der Umgebung von Blasko». *Archéologie Expérimentale*: 149–155.
- Stenvik, L. 1987. *Gammel jernframstilling i Trøndelag. Spor*, 1987/1: 4–7.
- Strömberg, B. 2004. «Arkeologiska undersökningar av järnhanteringsplatser i Tvååkersområdet». *Hikuin* 13: 105–174.
- Thomsen, R. 1966. «Metallographic Studies of an Axe from the Migration Age». *Journal of the Iron and Steel Institute* 204: 905–909.
- Thomsen, R. 1994. «Metallografiske undersøgelser af sværd og spydspidser fra mosefundene i Illerup og Nydam. Summary». *Aarbøger for nordisk Oldkyndighed og Historie* 1992 (1994): 281–310.

- Vellev, J. 2004. «Om «Sorø Klosters Gavebog» – og om produktion af jern og salt i Halland». *Hikuin* 13: 37–66.
- Voss, O. 1962. «Jernudvinding i Danmark i forhistorisk tid». Summary. *Kuml*: 7–32.
- Voss, O. 1986a. «Jernudvindingsanlæg i Danmark fra forhistorisk og historisk tid». *Arkæologiske Udgravninger i Danmark* 1985: 25–30.
- Voss, O. 1986b. «Drengsted». *Reallexikon der germanischen Altertumskunde*: 177–180.
- Voss, O. 1993. «Jernudvinding». I Hvass S. & B. Storgaard (red.). *Da Klinger i Muld. 25 års arkæologi i Danmark*: 206–209. Århus: I kommission hos Aarhus Universitetsforlag
- Voss, O. 1995. Arkæologiske spor efter middelalderens jernudvinding i det nuværende Danmark. In: S.-O. Olsson (red.) *Medeltida danskt järn*. 27–35. Halmstad: Centrum för sydsvensk kulturmiljöforskning, Högskolan i Halmstad.
- Voss, O. 2002. «Jernproduktionen i Danmark i oldtid og middelalder – status og fremtid». *Drik – og du vil leve skønt*. Festskrift til Ulla Lund Hansen på 60-årsdagen. Publications from the National Museum PNM Studies in Archaeology & History 7: 139–148.
- Wegewitz, W. 1957. «Ein Rennfeuerofen aus einer Siedlung der älteren Römerzeit in Scharmbeck (Kreis Harburg)». *Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte* 26: 3–25.