

# Myremalm

VAGN FABRITIUS BUCHWALD



Vagn Fabritius Buchwald: Myremalm. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 0, pp. 1–26. København, 1998–07–09.

Myremalm er et postglacielt, jernoxid-rigt sediment, som forekommer i områder, der har været nedisede. Myremalmen antager forskellige former. Den egentlige myremalm har været vigtig i Norge, Sverige og Finland, hvor den danner løse lag eller svagt sammenkittede kager i kær og moser. I Norge ligger udskillelserne højt, 500–1000 m over havet, omtrent sammenfaldende med sæterne. Rødjord forekommer især i Vester Götland, Halland og Värmland, hvor den danner finkornede masser af jernhydroxider, humus og sand. Den faste myremalm er typisk for Danmark, hvor den især i Vestjylland i oldtiden har dannet basis for jernfremstilling. Myremalmen er også i et vist omfang blevet anvendt som bygningsmateriale i kirker og huse. Okker er en overfladedannelse, som kendes fra alle de nordiske lande, men som har haft ringe økonomisk betydning. Sømalm har især været vigtig i Småland og Finland, hvor den helt op til vor tid har været i brug til råjernsfremstilling i trækulsfyrede højovne.

Selve ordet myremalm er af fællesnordisk oprindelse og beskriver malmen, som den forekommer i Norge og Sverige. Navnet passer dårligt på de danske forekomster, hvor man da også tidligere brugte ordet jernal. En lang række specielle betegnelser for myremalm diskuteres. Myremalmens mineralogi og kemiske sammensætning behandles, og det påvises på baggrund af nye analyser, at der både er regionale og lokale forskelle, som er af systematisk karakter. De regionale kan bedst beskrives ved  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  forholdene, samt ved indholdet af  $\text{P}_2\text{O}_5$ . De lokale variationer drejer sig især om manganindholdet. Myremalmens dannelse behandles v. hj. af Pourbaix diagrammer, der tager hensyn til iltningspotentiale og jordbundens surhedsgrad. Endelig gennemgås myremalmens anvendelse som gasrensemasse og jernmalm, samt som mangankilde for tørelementer og gødning.

*Vagn Fabritius Buchwald, Ingeborgvej 4, 2920 Charlottenlund og Geologisk Museum, Øster Voldgade 5–7, 1350 København K.*

Myremalm er et rustfarvet, jernoxidrigt sediment med 35–50 vægtprocent jern, som er knyttet til magre jorder i tidligere nedisede områder. Myremalmens største udbredelse er derfor i Skandinavien, Baltikum og Nordtyskland. Den moderne dansker skænker formentlig ikke myremalm mange tanker, og de fleste vil formodentlig ikke være i stand til at identificere et stykke myremalm, endsige skelne det fra fortidens jernslagge. Ikke des mindre drejer det sig om et af de få råstoffer, som forekommer i Danmark, og som helt op til vor tid har haft en vis økonomisk betydning. Myremalmen er i tidens løb blevet benyttet til så forskellige opgaver som jernfremstilling, hus- og kirkebygning, tørelementer, gødningstilskud og gasrensning.

Selve ordet myremalm er ikke særlig gammelt i dansk sprogbrug. Der findes en Myremalmsplantage

syd for Karup og flere Malmveje og Malmkær i Midt- og Vestjylland, men disse navne hører 1800-tallet til. Myremalmsplantagen er således opstået i forbindelse med hedens opdyrkning, idet overskuddet ved salget af myremalm til gasværker blev brugt til erhvervelse af jord og plantning af gran i Karup-Ikast området (Schrøder 1898).

Langebek (1758:453) er den betydeligste ældre kilde til jernets historie i Danmark. Han har »fra en Ven i Jylland den Efterretning, at der på visse af Hederne er Jern-Erts i Mængde«, og at »der midt igennem Landet skal gå en stor Jern-Åre og at han [dvs. vennen] selv har seet Stykker på nogle Lispund oprøddede af Jorden«. Langebek antager, at vore forfædre har brugt ertsen i gamle smelteovne, og at det store forbrug af træ har lagt skovene øde og foranlediget hedens frem-

ler usammenhængende kager 15–50 cm under kærrets overflade, gerne på steder med mostuer og langsomt sivende vand. I visse tilfælde er malmen udfældet som spinkle rør omkring planterødder og kaldes da pibemalm. Ved lokaliseringen hjalp man sig med et 1 meter langt jordspyd, der kunne være forsynet med en smedet jernskrue på spidsen. Bjergmanden observerede modstanden mod spyddets indtrængen i jorden, lyttede til klangen, og undersøgte den jordprøve, der fulgte med op. Herved kunne han afgøre, om der var grundlag for opgravning af malmen. Det kunne være nødvendigt med en supplerende prøvesmagning: Prøvespyddet »drages opp och den deri fastnade jorden slickes på, hvilken röjer sitt järn genom en bleckagtig och adstringent smak« (Linné 1734, 3. august). Eller »Malmens smag når den tages i Munden og tygges lidet, den som er sød, sætter sig i Klumper og klæber sig ved Tænderne, er af bedste Slags, den samme er jernrig og tør. Den uden Smag er god, men ej rig. Den, som smager af Salt, Spanskgrønt og Vitriol er udelig« (Evenstad 1790). Den erfarne malmsøger vidste, at der var malm i nærheden, når han på stillestående vandpytter så en petroleums lignende hinde, jernfedt (Swedenborg 1734:132), ligesom rustovertræk på sten var et godt tegn.

I Norge synes myremalmen især at forekomme fra ca. 500 m højde og op til trægrænsen i 800–1000 m højde. Den er rigeligst til stede i områder med stor nedbør, omkring 1000 mm pr. år, og både lav-metamorf fyllitskiffer og moræne er udmærkede kilder til jernudfældelsen (Espelund 1991). Oldtidens jernfremstilling foregik i denne zone, der omtrent falder sammen med sæterens gode græsgange. Typisk ligger myremalmen 2–4 timers gang til fjelds i forhold til bebyggelsen i dalene. Det er blevet foreslået, at man i oldtidens Trøndelag og Telemark måske havde en blandingsøkonomi, hvor myremalmen og skoven var basis for jernfremstilling, mens sæteren gav grundlag for malkekvæg, hvortil kom jagt og opstilling af fælder (Espelund 1991, Martens 1992).

Som helhed er de norske fjelde jernrige. Foruden i Trøndelag er myremalmen rigelig til stede i Gudbrandsdalen, Valdres, Hallingdalen og Østerdalen (Hauge 1946), hvor den har dannet grundlag for jernfremstilling siden vor tidsregnings begyndelse. Malmen forekommer i myrerne (moserne), fortrinsvis hvor der er græs i tuer, samt lyng og småbuske, og især i mosens udkanter nær det indsvivende vand. Med spade kan man fjerne de øverste 20–40 cm tørvejordslag, så malmen eksponeres. Den er småklumpet, grynet, sandet og drivende våd, så den må lægges til tørre, før den kan bruges til jernfremstilling. Den bedste årstid for opgravningen er omkring St. Hans, hvor der er tørrest i fjeldet. Hen i september er malmen tjenlig og så løs, at den lader sig knuse mellem fingrene; eventuelle mindre sten kan da let sorteres fra inden malmen ristes og sættes på blæsterovnen.

I morænejordsområder i Norge og Sverige er der en klar tendens til at myremalmen danner fastere kager

og dermed danner en overgang til den faste danske malms type (Hauge 1946:31).

Myremalmen i Sverige er knyttet til moser, kær og skovsumpe, der ligger 75–150 m over havet i Skåne, Halland og Vestmanland; 250–350 m o.h. i Jämtland og Härjedalen, og 350–500 m o.h. i Värmland og Dalarna. Malmen er lokalt i Dalarna blevet kaldt dyjord, understregende den løst opbyggede, dyndagtige struktur (Pettersson 1982). I Storsjöområdet i Jämtland har man iagttaget, at myremalmen kan fældes ud i grænsezonerne mellem lerskifte og granit. Disse zoner sammenfalder ret godt med de mere betydningsfulde jernfremstillingsområder i middelalderen (Magnusson 1986). Silurområderne i Jämtland, Mälaronrådet, Øster- og Vester Götland, Öland og Skåne er i hovedsagen fri for myre- og sømalm. Som et kuriosum anfører Nihlén (1927) dog, at han har observeret en mindre myremalmsforekomst i Vamlingbo sogn på Gotlands sydspids.

Myremalmens forekomstmåde er i øvrigt som i Norge, idet det dog fra svensk side (Swedenborg 1734, Naumann 1922) nævnes, at homogene, jævne moser sjældent fører myremalm, hvorimod malmen ofte ligger i forsumpede områder i skov eller på svage skrån timer gående over i enge og ned mod vandløb. Mange forfattere, f.eks. Swedenborg (1734) og Evenstad (1790), er enige om, at myremalmene »formerer sig«. Man kan efter at have opgravet al malm komme tilbage 30–40 år senere og påny forsyne sig.

En forfatter, der i 1750'erne beskrev Dalarnes myremalm, mente, at de tidligere havde dannet tykke lag på over 1 meter (Pettersson 1982). En undersøgelse i Alvdalen 1851 viste dog kun gennemsnitlige tykkelser på 5–10 cm. Lagene var uregelmæssigt forgrenede, og de enkelte zoner strakte sig sjældent over mere end 20–30 m i diameter og nåede ikke op over 1000 m<sup>2</sup> i udstrækning. Den totale mængde i et område var umulig at vide, før hele området var gravet igennem. Da jeg i 1991 besøgte Gryvelsjöområdet i Alvdalen 50 km syd for Särna, var det interessant at se de områder, hvor der tidligere var taget myremalm, og det var stadig muligt med en spade at finde de 10–15 cm tykke malmlag i de forsumpede, med birk, fyr og tyttebær- ris bevoksede områder, Fig. 2–3, s. 12.

I Småland og de tilgrænsende dele af Halland og Skåne har myremalmen kun en begrænset udbredelse. Her spiller rødjord og sømalm en større rolle.

I Finland er myremalmen udbredt, især i den vestlige del (Härö 1994). En udmærket beskrivelse af forekomster og brydningsmetoder er givet af Rinman (1794). De adskiller sig kun i detaljer fra hvad der er kendt fra Sverige.

*Rødjorden* er en variant af myremalmen, som især er kendt fra Vester Götland, Halland, Småland og det nordlige Skåne (Thunmark 1937). Tillige er den kendt fra Vestmanland, hvor en lokalitet med navnet Röda Jordan, nær Riddarhyttan, undersøgte af Wedberg (1984), som påviste ovenrester og slagger fra jernfrem-



Fig. 5. Klode, dvs. firdelt halvfabrikat af slaggeholdigt jern. Vægt 8,2 kg. Fundet i Karup Å og formentlig fra omkring 1400–1500. Bredde 40 cm. Fra Buchwald 1991.

stilling i nærheden af rødjordsforekomsterne. Langs med Hallandsåsen er rødjord almindelig i sognene Fagerhult, Örkelljunga, Hishult, Våxtorp og Öster Karup (Nihlén 1939). Myremalmen ligger mest i skovdækkede områder, så den træffes i vore dage mest ved gravning af dræningsgrøfter. Lokalteterne har meget varierende udstrækning, fra 100 m<sup>2</sup> til nogle hektar. I Halland kaldtes rødjorden også ørjerd (Nihlén 1939:37), men i Vester Götland hed den röjola og roelka, havde ofte henvend 50% jern og var altså en virkelig god malm (Mac Key 1982:137). Rødjorden er pulverformet og iblandet en lille smule ler, sand, grus og planterester. Den ligger i overfladen eller umiddelbart under et tyndt jorddække og kan danne 10–30 cm tykke lag, der nedad til afsluttes med sortagtige, manganrige skorpedannelser, f.eks. ved Skeingesjö i Gönge herred, Skåne. Forekomsterne dækkes af græs, buske og træer og er ofte knyttet til en fastere grund end den egentlige myremalm. Rødjorden kan således ligge under dyrkede marker på de lavere dele af et svagt bakket terræn.

I Tranemo sogn, Vester Götland, forekommer der rødjord over områder på flere hektar, og malmlagets tykkelse kan være op til 70 cm. I den bedste rødjord kan der være over 60% jern, men kvaliteter med ned til 20% er blevet identificeret. I de gode kvaliteter er kornstørrelsen så lille, at kornene ikke kan føles med fingrene, i de ringere kan man både se og føle sandkornene. Malmdannelsen finder stadig sted (Englund 1994 A). Ved Sandabäckens øvre løb i Sibbarp sogn, nær Tvååker, Halland, forekommer 30–40 cm tykke rødjordsaflejringer lige under muldlaget. Aflejringerne ses bedst, hvor bækken skærer igennem landskabet.

Malmen i såvel Vester Götland som Halland, Småland og Skåne har været brugt til jernfremstilling siden oldtiden, Fig. 4, s 13. De uafhængige jernbønder omkring Lagan i Sunnerbo Herred, Småland, produ-

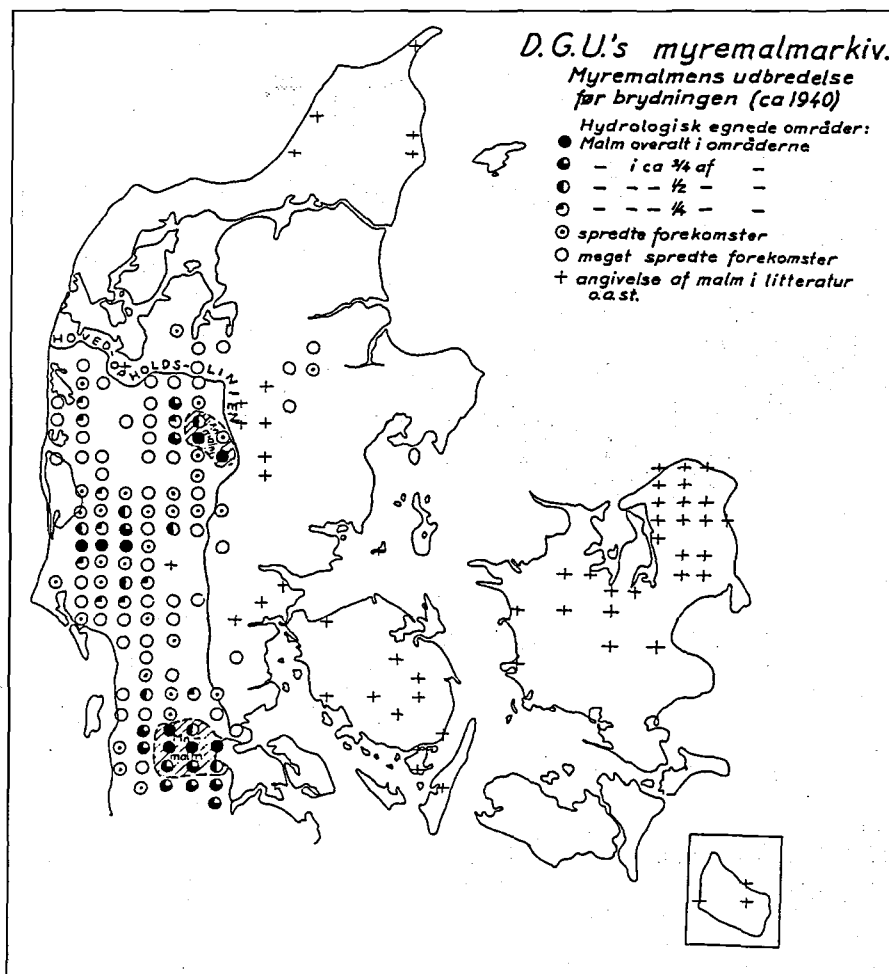
cerede længe halvfabrikater, de såkaldte kloder, Fig. 5 (Buchwald 1991), som de afsatte hvor markedet var bedst. I 1641 indklagede landshövdingen i Växjö bønderne for smughandel, idet de uden hjemmel førte kloderne over grænsen til Skåne/Danmark. Noget senere hedder det »at bønderne smida järn utan Kongl. Bergskollegio tillstånd och fara ända till Skåne och sälja det«. Brugspatronerne i Bergslagen opfattede det som ubillig konkurrence og opfordrede til at jernet blev konfiskeret, og at der blev nedlagt forbud mod bøndernes produktion (Nihlén 1932).

*Den faste myremalm* er især kendt fra Danmark, Slesvig, Holsten og det nordtysk-polske sletteland så langt mod syd som Warszawa. Spredte forekomster kendes også fra Skåne, Halland og Småland, vistnok især fra de morænedækkede dele heraf.

Som nævnt ovenfor er Langebek (1758) og Pontoppidan (1769) de første, der omtaler den faste myremalm. Brünnich (1777) og Evenstad (1790) kender den ikke, da de især behandler norske forhold. Forchhammer, som interesserede sig levende for at etablere en dansk jernproduktion på basis af myremalm, beretter i et foredrag 1847 at »Myremalmen ligger der [dvs. i Jylland] gjerne 3, 4, til 8 Tommer under Overfladen, og Laget har en Tykkelse af 6, 8 12 og i ganske sjældne Tilfælde indtil 24 Tommer. Under Malmen ligger atter sand, og jeg kender ikke et eneste Tilfælde, hvor man har fundet to fra hinanden adskilte Lag over hinanden... Malmen indeholder i Gennemsnit 40–50 Procent Jern... Engene blive bedre, når dette Malmlag borttages, da det i en våd Årstid hindrer Vandet i at synke ned, og i Tørke ikke tillader Fugtigheden at trække op til Overfladen og Planterødderne« (Forchhammer 1869).

Den faste myremalm optræder især, hvor de øvre gennemtrængelige morænedannelser er udvasket for

Fig. 6. Kort over Danmarks forekomster af myremalm med markering af isens hovedopholdslinie. Situationen før den store udnyttelse satte ind omkring 1940. De relative mængder er antydet ved cirklernes fyldningsgrad. + markerer opgivelser fra litteraturen. DGU's myremalmsarkiv (Christensen 1966).



kalk, dvs. især på bakkeøerne og hedesletterne vest for Weichsel israndslinien i Jylland, og her især langs de mindre tilløb til ådalene og de lavere liggende arealer. Dette udelukker ikke, at der ikke også andre steder i Danmark kan være mindre forekomster, tilstrækkelig til at den lokalt har kunnet danne grundlag for jernfremstilling. I Hinge, Tem, Torning, Mausing, Vrads og andre sogne på Silkeborg egnen må der således have været gode malme, der kunne bruges til at lave det jern, der i middelalder og renæssance bl.a. leveredes til København (Buchwald 1991). På Sydfyn omkring Brahetrolleborg (Frydendahl 1932) og i Odsherred og Nordsjælland, bl.a. nær Søborg og under Hillerød by, findes der fast myremalm. Rørdam (1893) beskriver et meget stort lag i Niverød mose, Grønholt sogn, på sine steder 30 cm tykt og med en udstrækning på ca. 10 hektar. Mindre lag er konstateret over ca. 1 ha i Værebrodalen, Veksø mose og Torkilstrup mose (Rørdam 1899). Spredte iagttagelser viser, at myremalmsforekomster strækker sig ind under Storkøbenhavn, f.eks. i nu bebyggede områder af

Vridsløse og nær Harrestrup Å i Herlev. Myremalm forekommer også adskillige steder på Bornholm, men kun i ringe mængde. Findestederne ligger især i Almindingen og henimod Østermarie, samt i nærheden af Stavnsdal. Lokalt er registreret en mægtighed af 30 cm (Grönwall & Milthers 1916) Den bedste fremstilling af den faste myremalms forhold i Danmark skyldes Werner Christensen (1966), hvorfra medfølgende kort også er taget, Fig. 6.

De største forekomster træffes i Vestjylland. På Karup hedeslette ved Ilskov og Simmelkær, på Storåens terrasseflade fra Kølørkær-Ikast til nær Holstebro, på bakkeøen øst og nord for Varde, på Tinglev hedeslette og omkring Ulfborg og Skjern. Her er truffet 10–50 cm tykke bænke, eller gulve, af myremalm, der i nyere tid har voldt landbruget en del problemer. For mens de svenske og norske malme i reglen findes langt fra dyrket område, ligger mange danske malme under jord, der efterhånden er blevet inddraget til dyrkning. Tidligere nåede ploven næppe nok ned til myremalmens overflade, men med den moderne dybdepløjnings

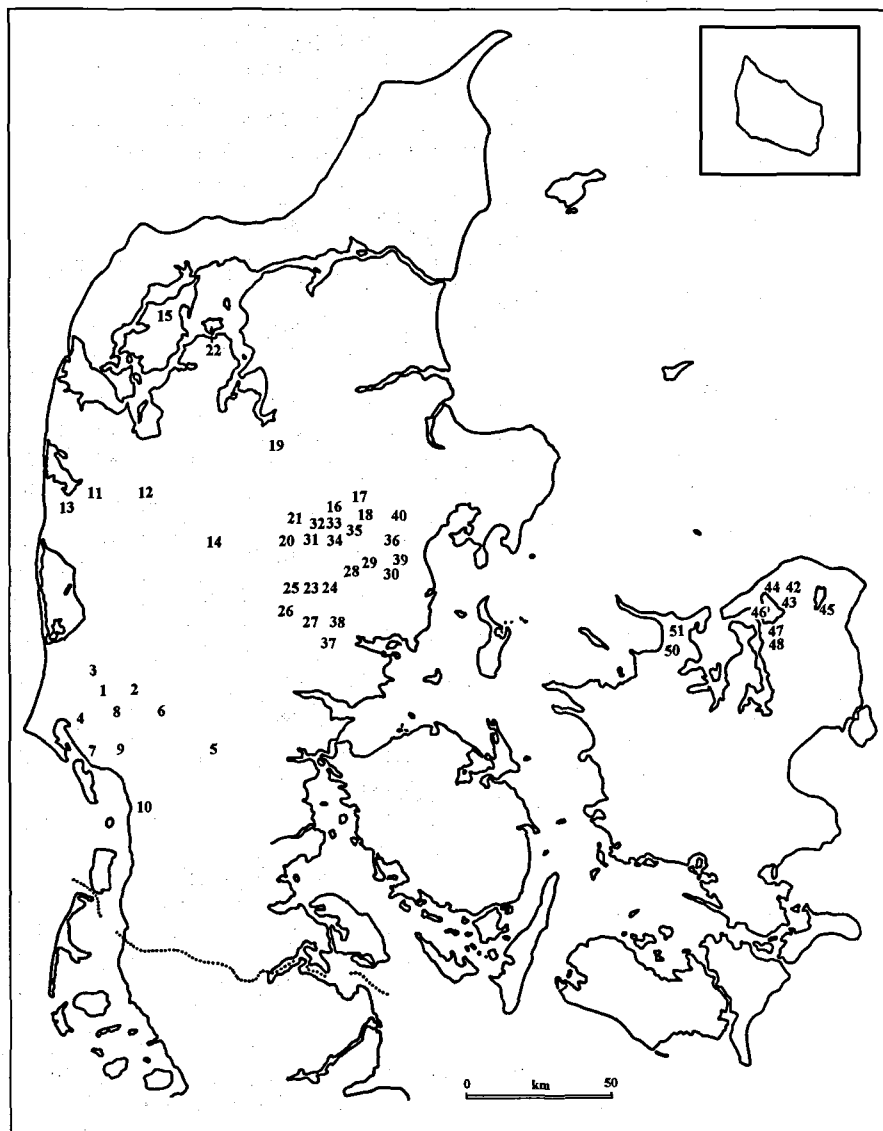


Fig. 7. Kort over kirkebygninger, hvori der er underordnede partier af fast myremalm eller jernal. Kirkerne er angivet med et nummer, der refererer til Tabel 1.

indførelse er man stødt på vanskeligheder. Det er blevet nødvendigt med stærke traktorer til at rive malmen op, og her i 1900-tallets anden halvdel er store arealer blevet rensset for den faste myremalm. De berørte marker ligger ikke nødvendigvis langs bæk og å, men kan også ligge på svagt skrånende terræn, der modtager sivende vand fra højereliggende partier. Hvor malmen ligger relativt tæt på overfladen, kan den røbe sig ved at græsset visner om sommeren, eller ved at kornet trives dårligt, som allerede Forchhammer bemærkede.

Den geologiske registrering af den faste myremalms udbredelse kan suppleres ved to uafhængige metoder. Man kan på et kort afsætte de lokaliteter, hvor man træffer slaggebunker og affald fra de ovne, hvor man i ældre tid fremstillede jern. Dette giver i første til-

nærmelse en god overensstemmelse. Desuden peger en række slaggeforekomster på tilstedeværelsen af myremalm, som endnu ikke er lokaliseret. Eller man kan afsætte de kirker, hvori myremalm eller jernal indgår som bygningsmateriale (Buchwald og Voss 1992). I et projekt, som endnu ikke er afsluttet, har jeg identificeret omkring 50 endnu stående kirkebygninger, hvor malmen er brugt enten konstruktivt eller dekorativt, Fig. 7 og Tabel 1. Konstruktivt kan der være tale om mindre bygningspartier som apsis i St. Jacobs kirke i Varde, der op til sin halve højde består af myremalm, Fig. 8, s. 16. Eller rundinger over vinduer og døråbninger, hvor myremalmen er brugt, fordi den var lettere at tilfælde end markstenene. I Tistrup kirke nordøst for Varde er alterbordet bygget op af myremalm og derefter hvidkalket. I Højby kirke,

Tabel 1. Kirker, hvori myremalm/jernal er anvendt som underordnet byggemateriale

|    | Sognekirke             | Herred         | Amt <sup>1</sup> |
|----|------------------------|----------------|------------------|
| 1  | Hodde                  | Øster Horne    | Ribe             |
| 2  | Ansager                | do             | do               |
| 3  | Tistrup                | do             | do               |
| 4  | St. Jacob              | Varde by       | do               |
| 5  | Jordrup <sup>2</sup>   | Anst           | do               |
| 6  | Starup                 | Skast          | do               |
| 7  | Brøndum                | do             | do               |
| 8  | Øse                    | do             | do               |
| 9  | Grimstrup              | do             | do               |
| 10 | Domkirken              | Ribe by        | do               |
| 11 | Ulfborg                | Ulfborg        | Ringkøbing       |
| 12 | Nørre Felding          | do             | do               |
| 13 | Staby                  | do             | do               |
| 14 | Gjellerup              | Hammerum       | do               |
| 15 | Flade                  | Morsø Nørre    | do               |
| 16 | Vejerslev              | Hovlbjerg      | Viborg           |
| 17 | Velle                  | do             | do               |
| 18 | Thorsø                 | do             | do               |
| 19 | Domkirken              | Viborg by      | do               |
| 20 | Funder                 | Hids           | do               |
| 21 | Sejling                | do             | do               |
| 22 | Fur <sup>3</sup>       | Harre          | do               |
| 23 | Sønder Vissing         | Tyrsting       | Århus            |
| 24 | Voerladegaard          | do             | do               |
| 25 | Vinding                | do             | do               |
| 26 | Græstrup               | do             | do               |
| 27 | Føvling                | do             | do               |
| 28 | Dover                  | Hjelmlev       | do               |
| 29 | Veng                   | do             | do               |
| 30 | Hørning                | do             | do               |
| 31 | Virkklund <sup>2</sup> | Vrads          | do               |
| 32 | Bjarup <sup>2</sup>    | Gjern          | do               |
| 33 | Gjern                  | do             | do               |
| 34 | Skannerup              | do             | do               |
| 35 | Søby                   | do             | do               |
| 36 | Harlev                 | Framlev        | do               |
| 37 | Hornborg               | Nim            | do               |
| 38 | Tamdrup                | do             | do               |
| 39 | Kolt                   | Ning           | do               |
| 40 | Sabro                  | Sabro          | do               |
| 41 | Erritsø                | Elbo           | Vejle            |
| 42 | Helsing                | Holbo          | Frederiksborg    |
| 43 | Annis                  | do             | do               |
| 44 | Ramløse                | do             | do               |
| 45 | Asminderød             | Lynge-Kronborg | do               |
| 46 | Kregme                 | Strø           | do               |
| 47 | Skævinge               | do             | do               |
| 48 | Strø                   | do             | do               |
| 49 | Egebjerg               | Odsherred      | Holbæk           |
| 50 | Vig                    | do             | do               |
| 51 | Højby                  | do             | do               |

<sup>1</sup> Amtsopdelingen fra før 1970

<sup>2</sup> Kirken er nedrevet

<sup>3</sup> Kirken er bygget af den lokale Rødsten

Odsherred, er der indfældet myremalm mellem munkestenene i kirkens hjørner, Fig. 9, s. 17. I domkirkerne i Viborg og Ribe er dele af krytterne udført i myremalm. Dekorativt kommer myremalmen til sin ret i norddøren og omkring vinduer i Vejerslev kirke syd for Bjerringbro, Fig. 10, s. 21, samt i Gjellerup kirke øst for Herning, hvor triumfbuen består af skifter af rødbrun malm og blege granitkvadre, Fig. 11, s. 24. Gjellerup kirke udmærker sig ved at være dateret, idet der over syddøren findes en inskription, der beretter om indvielsen i 1140.

Generelt forefindes malmen i kirkernes ældste partier, som grundmur og kor, der er fra 1100-tallet, og den findes ikke i tårnene, der i reglen er af langt yngre dato. Observationerne hæmmes noget af at mange danske kirker er kalkede, men så kan man støtte sig til værket Danmarks Kirker. Heraf fremgår det tillige, at visse nu nedrevne kirker, f.eks. Jordrup kirke i Anst herred, formentlig havde bygningspartier af myremalm. Andre kirker som Tvilum i Gern herred kan have fået erstattet nedslidte kvadre af myremalm med munkesten. Det vides også, at der i forrige århundrede i hedeegnene omkring Herning blev bygget adskillige huse af myremalm, Fig. 12. Enkelte mindre gårde og udhuse findes endnu, selvom nogle kan være vanskelige at erkende, fordi de er blevet kalkede (Nielsen 1941; Boysen 1989). Den i kirkerne anvendte myremalm er i reglen ret rig på sandskorn, hvilket har stabiliseret den tilstrækkeligt til at kunne overleve i mere end 800 år. Til gengæld har den været kritisk fattig på jern, mindre end 30% Fe, så den sikkert er blevet vraget som grundlag for jernfremstilling.

Overensstemmelsen mellem de kendte myremalmsforekomster og udnyttelsen i bygninger er god. Det betyder bl.a. også, at malmen er blevet brugt nær de steder, hvor den blev gravet op og ikke har kunnet retfærdiggøre – eller tåle – nogen længere transport.

Som et kuriosum kan det nævnes, at der i Danmark kendes nogle få jernmalmsforekomster, der er af langt ældre dato end myremalmene. I Øxenrade syd for Middelfart findes en 1–3 m mægtig formation af oligocæn alder. Den strækker sig over flere hektar og indeholder ca. 34% Fe (Andersen 1940). I Løvskal, syd for Nørreå, Skjern sogn, findes en forekomst, der omtales af Nielsen (1924:111; 1941: 128) som en potentiel jernmalm pga sin mægtighed. I borehul nr. 17 var der en lagtykkelse på 530 cm! Løvskal-forekomsten er imidlertid af interglacial alder, og dens sammensætning afviger stærkt fra de faste danske myremalme, se Tabel 2. Den er ret fattig på jern, mangan og fosfor, men rig på calcium, magnesium og svovl. Der er intet, der tyder på at de to forekomster har været kendt og udnyttet i gamle dage.

*Søalm* er en variant af myremalm, som udskilles på bunden af visse søer. Lundqvist (1942) har påvist, at søer med brunligt vand og ringe gennemskinnelighed har sømalmen liggende på 1–2 m dybde, mens søer med grønligt vand og større transparens kan have



Fig. 12. Et hedehjem i Vester Tulstrup, nord for Ikast. Fotografiet fra 1897 viser de smukke og harmoniske bygninger. Myremalmsheden er nu forsvundet, men stuehuset står stadig, dog i overpudset tilstand. Fra Boysen 1989. Med tak til Søren Paulsen, Herning Museum, som formidlede lånet.

malm på væsentlig større dybder. I Sverige og Finland, hvor sømalm er almindelig og tidligere har haft stor økonomisk betydning, skelner man mellem forskellige typer, som krudt-, perle-, bønne- og penge-malm (Rinman 1794; Percy 1864 I:322; Naumann 1922). Navnene sigter til størrelsen og formen på det udskilte materiale. I reglen danner malmen et enkelt lag af adskilte partikler og kager på søbunden, men undertiden kan laget være vokset til ret sammenhængende skorper på bunden, den såkaldte skraggmalm.

I Sverige forekommer sømalmen særlig rigeligt i Småland. På Naumanns kort (1922) ses det, at malmen findes i et bredt område i den østre del af Kronobergs len fra Blekingegrænsen i syd til Vimmerby i nord. Andre vigtige områder ligger nær Växjö, Värnamo og Möckeln, Fig. 13–14.

Det er ikke helt klart, hvornår man tog sømalmen i brug. Arrhenius (1967) mente, at det skete allerede i tidlig middelalder, men jeg er mere tilbøjelig til at forlægge tidspunktet til efter 1400. Huseby Bruk, 20 km sydvest for Växjö, hentede således malm til højovne-



Fig. 14. Sø-malm. Varianten pengemalm. Fra Helgasjön, nord for Växjö, Småland. Foto Ole Bang Berthelsen. Målestok 10 mm.

ene fra søerne Salen og Skatelöv fra omkring 1500 til henved 1900. Huseby Bruk er i dag et meget besøgt frilandsmuseum.

Sømalmen blev revet sammen i bunker på søbunden, enten fra båd om sommeren eller fra isen om vinteren, Fig. 15. Fra Dalarna foreligger følgende beretning, optegnet 1920 efter en 70-årig mands erindringer (Bannbers 1922). »Vid sjön Van [45 km sydvest for Mora], där man förr upptagit mycket sjömalm, använde man sig av stora flottar av timmer. I mitten av flottan fanns ett hål, omkring 3 alnar i fyrkant, varigenom tvättstället sänktes ned till sjöbotten. I sållet fördes malmen med å långa stänger fastsatte rakor, vilka voro formade så, att de följde botten. Då tillräcklig mängd malm förts i sållet, lyftes detta upp med liner till vattenbrynet, där malmen sköljdes ren från slam. Därefter fördes sållet upp på flottan och malmen lades upp«.

I Småland var der omkring 1870 seks højovne i gang, Hornsö, Huseby, Lessebo, Ohs, Orrefors og Åminne (Åkerman 1873). Et snit gennem en svensk højovn



Fig. 13. Sø-malm. Varianten pengemalm. Fra Vidöstern, syd for Värnamo, Småland. Foto Ole Bang Berthelsen. Målestok 10 mm.



Fig. 1. Rekonstruktionsforsøg af 1700-tals blæsterovn med vandmølledrevne blæsebælge. Gryvelåreservatet, Älvdalen, Dalarna. 18. september 1991.

ses i Fig. 16. Ovnene blev i hovedsagen drevet på basis af den malm, der blev taget fra de omkringliggende søer. De udstrakte skove leverede det nødvendige træ, der blev omdannet til trækul i i hundredvis af meget store kulmiler. Men jernproduktionen i England, Tyskland, Frankrig og USA blev efterhånden for stærk en



Fig. 15. Optagning af søalm fra isen om vinteren. Søalmen ligger som isolerede kager i et indtil 30 cm tykt bundlag. På isen ses et skjul, en kælk, et sold og en bunke, der er klar til at blive slædet i land. Gammelt træsnit fra Småland.

konkurrent, fordi man der havde billige stenkuls-koks som brændsel. Desuden viste det sig, at skoven gav bedre udbytte ved at blive udnyttet til tømmer- og papirfabrikation. I den sidste fjerdedel af 1800-tallet nedlagdes næsten alle de smålandske jernbrug, Ohs i 1876, Lessebo i 1880 og Orrfors i 1900. Kapital og arbejdskraft overførtes til papirfabrikation og glasværker, og en stor del af dem, der blev arbejdsløse, udvandrede til Amerika.

Kun Åminne Bruk overlevede endnu nogle årtier. Det var blevet etableret i 1824 for at udnytte malmen fra søerne Bolmen og Vidöstern. I 1909 lykkedes det for Åminne Bruk at konstruere en maskine, der fra en pram kunne optage og rense sømalmen fra 0,9 til 4,5 m dybde (Iron and Steel in Sweden 1920:93; Nielsen 1941). Åminne Bruk havde ry for at fremstille noget af det bedste svenske råjern, og værket var i drift, på søalm og trækul, indtil omkring 1940! I den sidste tid produceredes der ca. 900 t råjern årligt, hvortil medgik 2500 t søalm.

Det sene 1800-tals dårlige konjunkturer for søalmen i Småland ses af følgende lille statistik, der viser produktionen af bjergmalm (hæmatit, magnetit) jævnført med produktionen af søalm i tre forskellige år (Åkerman 1873, omregnet fra centner á 42,5 kg til ton):



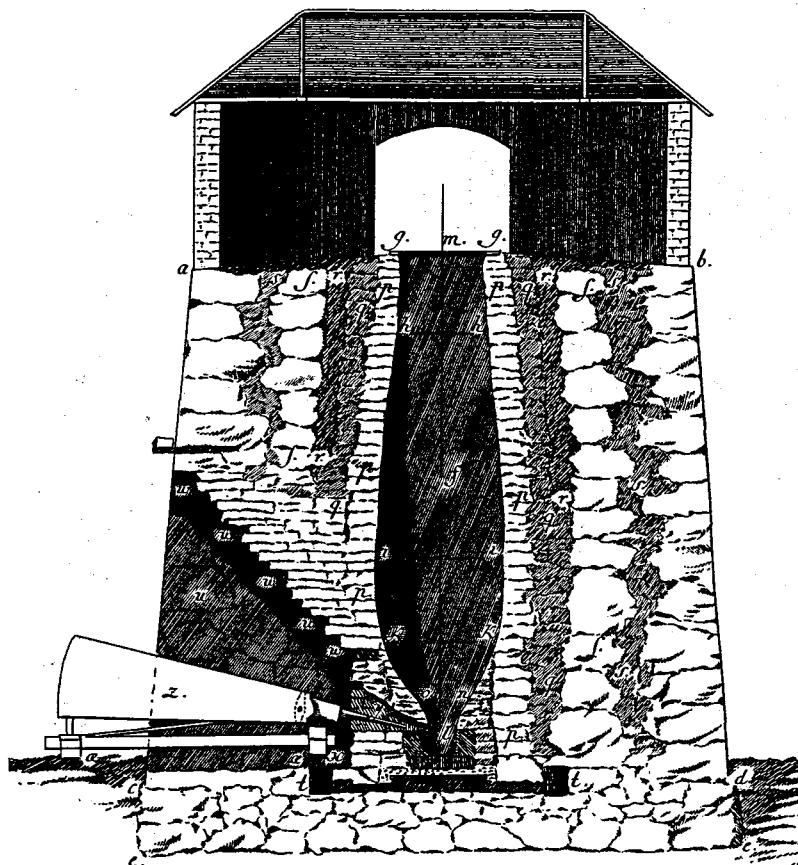


Fig. 16. Tværsnit af 1700-tals svensk højovn. Ristet malm og trækul påsattes foroven (m). De to blæsebælge (z) forsynede ovnen med luft. Råjern og slagge tappedes gennem en åbning forneden ud mod læseren (Rinman, S. 1788–1789).

|                                | 1860      | 1865      | 1870      |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Sø- og myremalm, Småland       | 22,212 t  | 20,298 t  | 13,753 t  |
| Bjergmalme, det øvrige Sverige | 394,825 t | 496,473 t | 616,601 t |

I Skåne forekommer sømalmen i Finjasjö, i søerne sydøst for Perstorp og i Hallandsåsens søer, specielt i Storesjö og Hjalmsjö (Nihlén 1939).

I Danmark er sømalm nærmest et kuriosum, der bl.a. er rapporteret fra Furesøen og Tjustrup Sø på 8–11 m vanddybde (Wesenberg-Lund 1901:82).

Heller ikke i Norge er sømalmen almindelig. Bedst kendt er den fra Storsjøen i Hedmarken, hvor Odals Jernverk var i drift fra 1690 til 1835. Værket var det første (og eneste), der i Norge brugte sømalm til fremstilling af råjern, Fig. 17. Der findes bevarede kakkelovne, hvor ovnpladernes indskrift lyder »I Norge blef sømalm først bekient ved Oudahls ♂ verk 1757« (Alfsen og Christie 1972; Thuesen 1977).

I Finland har sømalmen ligesom i Småland spillet en meget betydelig rolle, især i Karelen og Savolaks. Rinman (1794) bringer en meget udførlig omtale af forekomstmåden og af de metoder, der blev taget i anvendelse for at bjerge den. I det store finske epos

Kalevala spiller jernet en central rolle, og smeden Ilmarinen er en hovedfigur. Det fremgår, at malmen på gammelfinsk hed hölmä, et ord, der er beslægtet med det finske ord for perle. Det indebærer formentlig, at det var sømalmen i perleform, der var det væsentligste råstof for jernfremstillingen, både i de gamle blæsteroovne og i de meget senere højovne. Man har regnskaber fra omkring 1500, hvor indbyggerne i Savonlinna (Nyslotts) len betalte en del af sine skatter i form af jern. Der var gode smede i Karelen, og Gustav Vasa fik en del af sine geværer og andre våben smedet der af sømalm (Nikander 1928). Den kareliske nations våbenskjold viser, foruden den væbnede modstand mod russisk ekspansion, to pansrede arme med sværd, muligvis en antydning af den betydelige interesse for våbenproduktion, der var i området. Sømalmen dannede grundlag for højovnene i Värtsilä, hvor bl.a. søen Tohmajärvi var kendt for sin gode malm. Også i omegnen af Kuopio blev der optaget meget sømalm. Her træffer vi noget af en undtagelse, idet denne blev fragtet langt, ad elvene helt til Leinperi jernværk nær Bjørneborg.

Sømalm og myremalm var lettere at bryde end bjergmalm. Statistiske oplysninger fra 1860 viser således, at en mand kunne bjerge mellem 720 og 2125 kg sømalm pr. dag, eller 1490 kg myremalm, men kun 212



Fig. 17. Søalm. Varianten pengemalm. Fra Storsjøen, Odals Verk, nordvest for Kongsvinger, Norge. Foto Ole Bang Berthelsen. Målestok 10 mm.

kg bjergmalm (Härö 1994). Erfaringerne viste, at sømalmen gjorde bedst fyldest ved fremstilling af støbejern (gryder, ovne, kanoner), mens bjergmalmen anvendtes til råjern, der skulle friskes til smedejern og stangjern. Det skønnes, at der fra finske søer igennem tiderne er optaget henved ti millioner tons søalm (Alfsen og Christie 1972)

*Okker* er karakteriseret ved at være en overfladedannelse, som springer i øjnene ved sine karakteristiske gule-røde-brune nuancer. Den forekommer i hele Norden. Jernførende grundvand, som træder i dagen i norske bække og væld, farver disse stærkt og giver anledning til navne som raubekken, raudøla m.m. »Om sommeren, når det er tørt, strekker disse elveleiene sig som brede, røde ormer opetter fjellskrånningerne« (Hauge 1946). Okkerforekomster ses ofte i vestjyske grøfter og åer, bl.a. i forbindelse med brunkulslejerne. Naumann (1922) skelner mellem forskellige okkertyper, idet han inddrager vegetationens indflydelse og undersøger forskellige jernbakteriers betydning. I nyeste tid har okkerafsætningen i vestjyske vandløb og i Ringkøbing Fjord givet anledning til bekymring. Grundvandssænkningen har eksponeret nye jordlag for jernudvaskning, og en del af det opløste materiale er blevet udfældet langt fra oprindelsen.

### Myremalmenes sammensætning

Der foreligger ikke mange kemiske analyser af de nordiske myremalme. Her skal anføres nogle eksempler opdelt efter typer og provinser. Ingen enkelt analytiker har undersøgt mange forskellige typer, de vådkemiske metoder har varieret stærkt, og formålet med analyserne kan have været ret så forskellig. F.eks. har Danmarks Geologiske Undersøgelse i 1950'erne gennemført et betydeligt antal analyser af vestjyske myremalme, men da hovedformålet var at bestemme jern-, mangan- og fosforindhold er de øvrige grundstoffer ikke blevet bestemt, Tabel 3.

I 1990'erne har forfatteren foretaget en del analyser med særligt henblik på at bestemme malmenes egnethed for jernfremstilling, Tabel 2. Der er blevet fremstillet polerprøver af tørrede malme, og disse er blevet analyseret v hj af et scanning elektron mikroskop (Philips 505) med energidispersivt analyseudstyr (EDAX 9900). Der blev benyttet 20 kV, Take Off 38°,7 og Tilt 30. Der blev taget middelanalyser over 0,1–0,5 mm med tælltider på 50 Live sekunder. Myremalmene var tørre, men indeholdt bundet vand. Stikprøver viste 18–20% vægttab efter glødning ved 1000°C. Derfor må tabellens jernindhold korrigeres med en faktor på ca. 0,8, og det omtrentlige jernindhold kan derefter beregnes som

$$0,8 \times 2 \text{ Fe} / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,8 \times 2 \times 55,85 / (2 \times 55,85 + 3 \times 16) = 0,8 \times 0,7 = 0,56.$$



Fig. 2. Myremalmen ligger i mindre end et spadestiks dybde. Græstørven er vippet op, så man kan se den våde, løst konsoliderede, tørveagtige masse. Gryvelåreservatet, Älvdalen, Dalarna. 18. september 1991.

F.eks. er jernindholdet af myremalmen fra Jernvirke i første linie 56% af 86,48 = 48,4%. En brugbar jernmalm burde helst, med den tids metoder, indeholde mindst 35% Fe. Dermed er visse af tabellens malme fra Sjælland og Falster på kanten af det brugbare.

Særlig interessant er  $\text{SiO}_2$ -komponenten. De elektronmikroskopiske undersøgelser viser nemlig, at  $\text{SiO}_2$  er til stede på to måder, dels som kvarts og i feldspatpartikler, dels bundet i den strukturløse matrix sammen med andre oxider. Det er sjældent at denne andel af  $\text{SiO}_2$ -indholdet kommer ned under 5 vægt%. Kvarts- og bjergartspartiklerne kan fjernes mekanisk efter pulverisering, men den gelbundne del vil følge med

malmen hele vejen gennem blæsterovnen.  $\text{SiO}_2$ -komponenten ender til sidst i jernslaggen som fayalit,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , og som glas.

Af tabellerne kan uddrages nogle konklusioner vedrørende de regionale variationer. For det første er  $\text{Al}_2\text{O}_3$  høj i de svenske malme. Dette ses bedst ved at sammenligne de regionale værdier for forholdet  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ . Det tyder på, at vandet fra det forvitrende skandinaviske fjeldområde er rigere på aluminium end tilsvarende vand fra den danske moræne.

For calcium gælder det omvendte forhold. Der har sikkert aldrig været et særlig stort kalkindhold i de svenske aflejringer, og det der var, er i høj grad udva-



Fig. 3. Myremalmen er gravet op og lagt til tørre over sommeren. Gryvelåreservatet, Älvdalen, Dalarna. 18. september 1991.

Fig. 4. To små blæsterovne fra omkring år 1200 omgivet af en giffelformet slaggebunke. Overgroet og kun delvis udgravet. Ovnhullerne er ca. 30 cm i diameter. Jernvirke, Tvååker, RAÅ 85, Halland. 29. august 1995.



Tabel 2. Nye analyser af myremalm

SEM-EDAX på tørret materiale, vægt%, F Fast myremalm, R Rødjord, O Okker, B Bønnemalm, P Pengemalm, \* Fra jernalderovn, °Dårlig malm, I Interglacial aflejring

| Lokalitet               | Type | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Sum    |
|-------------------------|------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------------------|------------------|-----------------|------------------|--------|
| Jernvirke 1, Halland    | F    | 86,48                          | 6,34             | 3,86                           | 0,25 | 0,29 | 0,23 | 0,44                          | 0,13             | 0,66            | 0,13             | 98,81  |
| Jernvirke 2, Halland    | F    | 81,88                          | 7,73             | 6,68                           | 0,31 | 0,45 | 1,32 | 0,30                          | 0,13             | 0,45            | 0,08             | 99,33  |
| Jernvirke 3, Halland    | F    | 83,99                          | 10,75            | 3,27                           | 0,13 | 0,06 | 0,30 | 0,38                          | 0,17             | 0,38            | 0,22             | 99,65  |
| Jernvirke 4, Halland    | R    | 72,23                          | 12,61            | 10,63                          | 0,31 | 0,45 | 1,44 | 1,47                          | <0,1             | 0,62            | 0,24             | 100,08 |
| Bounum, Varde           | F    | 72,06                          | 13,79            | 1,36                           | 1,04 | 0,33 | 3,86 | 5,74                          | <0,1             | 0,81            | 0,10             | 99,19  |
| Holing, Herning         | F*   | 82,90                          | 6,74             | 1,16                           | 0,62 | 0,95 | 2,65 | 4,52                          | 0,10             | 0,26            | 0,10             | 100,0  |
| Joldelund, Niebøl       | F*   | 80,84                          | 8,23             | 1,06                           | 0,28 | 0,58 | 6,45 | 1,64                          | <0,1             | 0,22            | 0,07             | 99,47  |
| Madum, Ulfborg          | F    | 83,42                          | 6,25             | 2,28                           | 0,76 | 0,26 | 0,94 | 5,15                          | <0,1             | 0,29            | <0,1             | 99,55  |
| Snorup 1, Varde         | F*   | 88,20                          | 5,90             | 2,18                           | 0,32 | 0,26 | 0,58 | 2,29                          | <0,1             | 0,10            | 0,25             | 100,18 |
| Snorup 2, Varde         | F*   | 88,44                          | 6,81             | 0,86                           | 0,15 | 0    | 0,21 | 3,01                          | 0,16             | 0,18            | <0,1             | 99,92  |
| Vedersø, Ulfborg        | F    | 82,05                          | 6,91             | 1,54                           | 0,49 | 0,51 | 2,31 | 5,88                          | <0,1             | 0,24            | 0,07             | 100,10 |
| Bruneborg, Østbirk      | F*   | 81,85                          | 2,68             | 0,68                           | 1,84 | 0,57 | 1,45 | 9,08                          | 0,10             | 0,25            | <0,1             | 98,60  |
| Hald M 24, Viborg       | F    | 77,90                          | 10,10            | 2,58                           | 0,95 | -    | 1,45 | 6,43                          | <0,1             | <0,1            | 0,10             | 99,71  |
| Hillerød                | F    | 70,43                          | 13,46            | 2,51                           | 3,42 | <0,1 | 1,51 | 8,62                          | <0,1             | <0,1            | <0,1             | 100,35 |
| Søborg, brun malm       | F    | 82,61                          | 6,58             | 0,80                           | 1,68 | 1,08 | 0,53 | 6,38                          | <0,1             | 0,34            | <0,1             | 100,20 |
| Søborg, sort malm       | F    | 73,00                          | 8,82             | 1,35                           | 2,81 | 1,09 | 3,62 | 8,61                          | <0,1             | 0,40            | <0,1             | 99,90  |
| Ramløse, Helsingø       | F    | 76,09                          | 11,96            | 2,23                           | 0,50 | 0,63 | 2,13 | 6,17                          | <0,1             | <0,1            | 0,22             | 100,13 |
| Pederstrup, Ballerup    | F    | 73,42                          | 10,31            | 1,43                           | 3,41 | 0,35 | 2,39 | 7,18                          | 0,15             | 0,43            | 0,19             | 99,26  |
| Stenbækgaard, Odsherred | F°   | 62,64                          | 16,43            | 3,31                           | 4,04 | 1,08 | 1,85 | 10,02                         | <0,1             | <0,1            | 0,43             | 100,00 |
| Barup, Stubbekøbing     | F°   | 63,20                          | 14,01            | 4,16                           | 4,20 | 0,86 | 1,60 | 9,75                          | 0,22             | 0,22            | 0,67             | 98,89  |
| Nyråd, Vordingborg      | F°   | 63,98                          | 20,19            | 3,51                           | 3,17 | 0,59 | 1,42 | 6,25                          | <0,1             | <0,1            | 0,89             | 100,20 |
| Nørrehave, Vordingborg  | F°   | 67,57                          | 15,94            | 2,66                           | 2,42 | 0,85 | 1,02 | 7,34                          | 0,27             | 0,27            | 0,47             | 98,81  |
| Allested, Syd fyn       | F    | 73,38                          | 8,15             | 0,77                           | 2,21 | 0,62 | 5,24 | 5,68                          | <0,1             | <0,1            | <0,1             | 96,35  |
| Nøkkentved, Mørkøv      | O    | 91,69                          | 2,02             | 0,59                           | 1,84 | 0,91 | 0,79 | 1,68                          | <0,1             | 0,48            | <0,1             | 100,20 |
| Huseby, Småland         | B    | 81,27                          | 5,63             | 6,27                           | 0,34 | 0,95 | 3,86 | 0,76                          | <0,1             | 0,43            | 0,10             | 99,71  |
| Pickelsjö 1, Småland    | P    | 79,59                          | 10,94            | 6,44                           | 0,23 | <0,1 | 0,18 | 1,38                          | 0,97             | <0,1            | 0,27             | 100,20 |
| Pickelsjö 2, Småland    | P    | 71,55                          | 18,54            | 5,80                           | 0,24 | 0,10 | 0,84 | 0,83                          | <0,1             | 0,28            | 0,56             | 98,84  |
| Vidösterm, Småland      | P    | 86,11                          | 5,58             | 5,05                           | 0,10 | 1,21 | 0,89 | 0,43                          | <0,1             | 0,63            | <0,1             | 100,20 |
| Løvskaal, Nørre Å       | I    | 50,15                          | 32,72            | 1,10                           | 9,04 | 3,07 | 0,10 | 2,46                          | <0,1             | 1,32            | <0,1             | 100,16 |

Analyserne er anført med to betydende cifre efter kommaet. Dette er gjort af regnetekniske grunde (dannelse af sum, af forhold mm). Analysemetodens præcision berettiger næppe til mere end eet betydende ciffer.

Tabel 3. Ældre analyser af myremalm

M Myremalm, R Rødjord, F Fast myremalm, S Sømalm, O Okker

| Lokalitet            | Type | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | Andet | Reference        |
|----------------------|------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------------------|------------------|-------|------------------|
| Gryssen, Dalarne     | M    | 85,3                           | 12,5             | 2,3                            | 0,3  | 0,2  | 1,5  | 0,14                          | 0,10             | 0,7   | Serning 1973     |
| Sunnanäng, Dalarne   | M    | 78,7                           | 13,8             | 4,0                            | 0,7  | 0,3  | 1,0  | 0,37                          | 0,20             | 0,7   | Serning 1973     |
| Siljansnäs, Dalarne  | M    | 80,5                           | 13,0             | 5,3                            | 0,3  | 0,2  | 1,5  | 0,12                          | –                | 0,7   | Serning 1973     |
| Ålvdalen, Dalarne    | M    | 81,7                           | 11,1             | 3,3                            | 0,4  | 0,1  | 1,2  | 0,08                          | –                | 2,4   | Serning 1973     |
| Herrestad, Småland   | M    | 91,7                           | 3,7              | 1,7                            | 2,6  | 0,09 | 0,14 | 0,10                          | –                | –     | Naumann 1922     |
| Elverum, Østerdalen  | M    | 84,6                           | 9,6              | 1,13                           | –    | –    | 0,49 | 0,23                          | –                | 3,5   | Espelund 1993    |
| Rabæk, Skjern        | F    | 75,7                           | –                | –                              | –    | –    | 0,4  | 2,1                           | –                | 21,8  | Kristiansen 1960 |
| Asp, Horne           | F    | 69,0                           | –                | –                              | –    | –    | 3,9  | 4,0                           | –                | 23,1  | Kristiansen 1960 |
| Jynde vad, Tinglev   | F    | 57,8                           | –                | –                              | –    | –    | 8,6  | 1,7                           | –                | 31,9  | Kristiansen 1960 |
| Æggebæk, Tinglev     | F    | 73,5                           | –                | –                              | –    | –    | 2,0  | 2,7                           | –                | 21,8  | Kristiansen 1960 |
| Sunds, Ikast         | F    | 65,2                           | 8,6              | –                              | –    | –    | 8,5  | 2,3                           | –                | 15,4  | Buchwald 1987    |
| Nordsjælland Nr. 1   | F    | 68,0                           | –                | –                              | 0,9  | 0,3  | 0,4  | 2,3                           | –                | 28,1  | Nielsen 1924     |
| Sunds, Ikast         | O    | 71,9                           | –                | –                              | 0,2  | 0,1  | 0,34 | 0,65                          | –                | 26,8  | Christensen 1966 |
| Ølgod                | O    | 45,3                           | –                | –                              | 1,4  | 0,1  | 0,31 | 1,3                           | –                | 51,6  | Christensen 1966 |
| Kråkbodarna, Dalarne | S    | 63,3                           | 16,3             | 1,8                            | 0,4  | 0,1  | 2,6  | 0,4                           | –                | 15,1  | Serning 1973     |
| Hulingen, Småland    | S    | 68,8                           | 7,4              | 7,9                            | 0,62 | 0,16 | 0,60 | 0,70                          | –                | 13,8  | Percy 1864       |
| Vidöstern, Småland   | S    | 68,4                           | 8,0              | 5,3                            | 2,3  | 0,70 | 3,1  | 0,83                          | –                | 11,4  | Percy 1864       |
| Vidöstern, Småland   | S    | 68,10                          | 5,90             | 1,96                           | 1,45 | 0,80 | 1,90 | 1,58                          | –                | 18,3  | Johansson 1931   |

Andet, dvs. uopløselig rest, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, BaO, SO<sub>3</sub> etc.

sket allerede. Såvel myremalmene som sømalmene fra Sverige er fattige på CaO. Derimod er aflejringerne på de danske øer og i Østjylland rige på kalk fra det underliggende kridt og fra de kænozoiske kalkstensforekomster. Dette medfører en høj CaO andel i de tilsvarende myremalme. Hedesletterne og bakkeøerne i Vestjylland er temmelig udvaskede for kalk, så der kun er et ringe CaO indhold i myremalmen. Forholdet Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / CaO er en god indikator for de regionale forskelle.

Fosfor er kun til stede i beskedent omfang i de svenske malme. Der er dog ofte noget mere fosfor i sømalmen end i myremalmen fra samme område, som både disse og andre, ikke publicerede analyser viser. Man har længe vidst (S. Rinman 1782; C. Rinman 1794), at sømalme kunne føre til koldskørt jern, og at det var så godt som umuligt at lave stål på basis af sømalm. Nu ved vi, at fosforindholdet er den egentlige årsag til denne misère. I ældre tid sørgede man for at undgå de særligt uegnede sømalme, eller man brugte dem

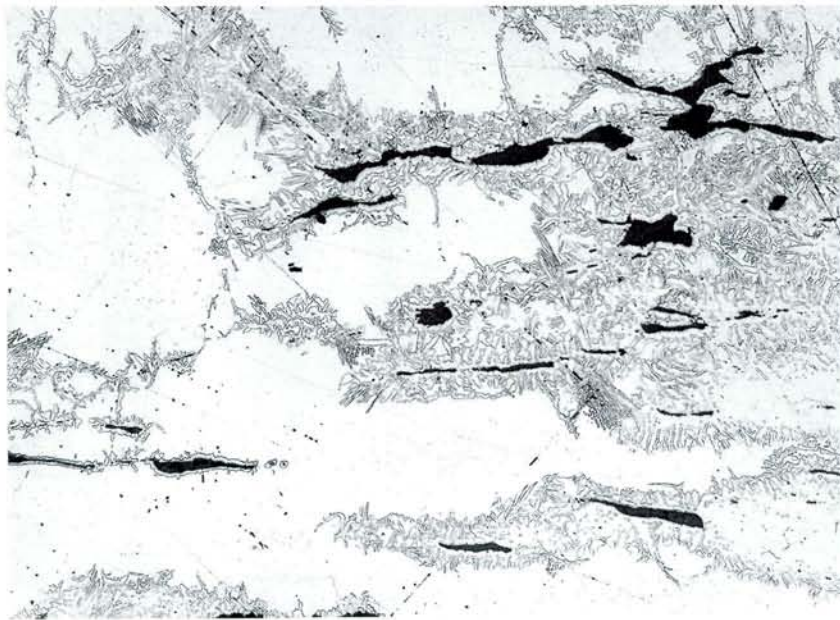
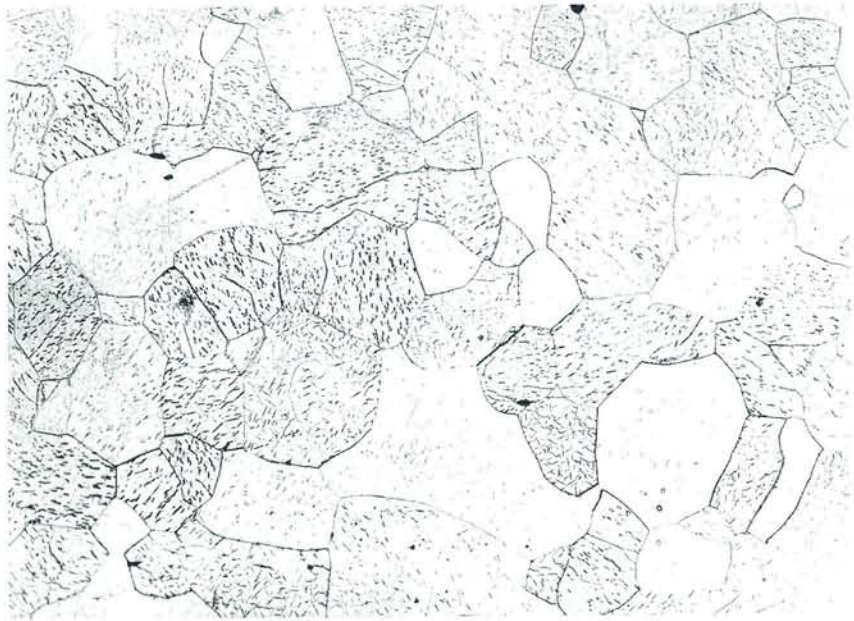


Fig. 18. Poleret og ætset tværsnit af fosforrigt jern fra Tommarp, Skåne. Ca. 1200 A.D. Fosfor giver anledning til en ejendommelig tofaset mikrostruktur og en ret betydelig hårdhed, 160–200 Vickers. De sorte pletter er fosforrige slaggeinklusioner. Sidelængde 2 mm.

Fig. 19. Poleret og ætset tværsnit af et fosforrigt søm fra Søborg Slot, ca. 1200 A.D. Ferritkorn med fosfidudskillelser. Sidelængde 0,5 mm.



udelukkende til støbegods som f.eks. kakkellovne. Man disponerede ikke over metoder til at fjerne fosfor, og man forstod iøvrigt dårligt de underliggende mekanismer.

De danske og skånske faste myremalme er rige på fosfor. Det resulterende smedejern blev fosforrigt, Fig. 18–19, og kunne nå en vis naturhårdhed på grundlag af fosfor alene. Derimod var man ikke i stand til at fremstille stål, hvilket forklarer at man i arkæologisk sammenhæng ofte finder importerede halvfabrikater af stål (stålbarrer). Det er ikke klart, hvorfra det iøjnefaldende fosforindhold i den danske myremalm stammer. Måske glaukonitandelen i de kænozoiske aflejringer ved forvitring og omlejring som følge af

istiden har tilført jordbunden noget mere fosfor end vore nabolande? Vore forfædre, som arbejdede med fremstilling af jern, har uden tvivl været i stand til at sortere malmene efter kvalitet, idet de studerede bruddet og farven. Den almindelige jernrige myremalm er gulbrun-rødbrun, mens de fosforrige malme er let grøngule eller har gullige zoner.

Mangan forekommer i varierende omfang, men variationen er lokal, ikke regional. I Danmark kan der dog påvises et bælte nord-syd gennem Jylland på begge sider af Weichsel israndslinien, hvor de faste myremalme ofte har høje manganindhold, >10%. Lokalt findes malmforekomster, der har mere mangan end jern. Meget almindeligt finder man, at den nedre del



Fig. 20. Polerprøve af fast dansk myremalm fra Vedersø, Hing herred. Krakeleret limonit af ujævn hårdhed og med porøse områder til højre. Målestok 1 mm. Philips SEM foto.

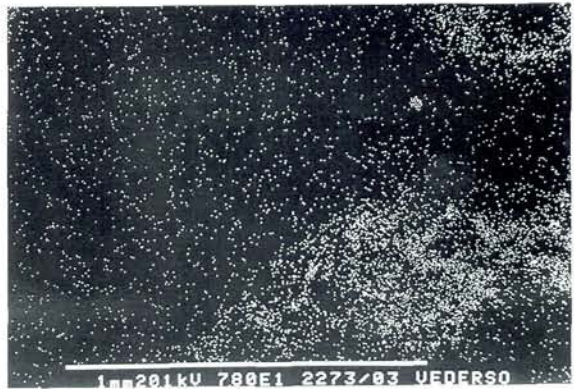


Fig. 21. Samme som Fig. 20, men prik-billede optaget med  $MnK_{\alpha}$  stråling, der viser at manganindholdet varierer betydeligt og her åbenbart er koncentreret i de porøse områder.



Fig. 8. St. Jacobs kirke i Varde. Nærbillede af apsis. Der er anvendt kvadre af marksten og af myremalm, og højere oppe er man fortsat med munkesten. Myremalmen stammer fra et af de talrige lejer i omegnen af Varde. August 1993.

af et 30–40 cm tykt malmlag kun indeholder 2–3% mangan, mens den øvre del indeholder 15–20%. Denne fordeling kan dog skyldes sekundære omdannelser (Christensen 1952). I Sverige og Norge er der måske en tendens til at sømalmen er rigere på mangan end myremalmene fra samme provins.

En og samme malmlokalitet kan udvise stærkt varierende manganindhold, som f.eks. de to analyser fra Søborg viser. Her drejer det sig om en rødbrun klump og en mørk klump med brunsorte brudflader, som er indsamlet med mindre end en meters afstand, men viser en faktor syv forskel i manganindholdet. Jeg har ofte iagttaget en lignende variation på cm-niveauet i polerprøver, Fig. 20–21. Manganrige malme kan kendes på den brunsorte eller matsorte farve, der formentlig skyldes en række dårligt definerede sorte oxider som psilomelan og wad,  $MnO_2$  (Ramdohr og Strunz 1967). I nærværende arbejde konstateredes det, at mangan og barium var korrelerede, således at bariumindholdet svarede til 5–10% af manganindholdet. Disse forhold observeredes både i dansk og i norsk (Telemark) materiale.

Okkeranalyserne antyder, at man her står overfor ret rene jern-forbindelser, hvor især indholdet af Mn, Si og Al er lavt. Summen af urenheder kommer ofte ned under 10 vægt%. I de norske og svenske okkerudskillelser er der mere fosfor end i de tilsvarende myremalm. Okkeraflejringerne har ingen større udstrækning, og de er næppe nogen sinde blevet anvendt til jernfremstilling, men de har i dette århundrede fundet anvendelse til rensning af kulgas.

Alkalimetallerne udgør en forsvindende del af malmenes metalindhold. Mest er der registreret i visse urene sjællandske malme, hvor kalium og natrium kan stamme fra nedbrudt feldspat og glimmer i moræne-materialet. Svovl, som ofte er registreret, stammer sandsynligvis fra nedbrudt svovlkis,  $FeS_2$ , og magnetkis,  $Fe_{1-x}S$ , der er almindelige mineraler i morænenes bjergarter.

Sporstoffer er blevet undersøgt i enkelte malme (Arrhenius 1967; Alfsen & Christie 1972; Martens & Rosenqvist 1988). Det viser sig, at nikkel, kobolt, zink, chrom og vanadin ikke er ualmindelige i norsk og svensk materiale, men niveauet er lavt, i reglen under 0,05%.

Massefylden af den faste myremalm er anført til 2,52–3,12  $g/cm^3$  for en række ikke nærmere specificerede sjællandske malme (Nielsen 1924). Det er lidt lavere end de værdier, 2,7–3,4  $g/cm^3$ , som vi har fundet ved eksperimentelt arbejde på DTU. Værdierne for massefylden stammer fra en række jyske myremalme, der først er blevet knust og tørret ved 20°C.

I litteraturen støder man hyppigt på synonymerne limonit og brunjernsten (f.eks. Noe-Nygaard 1962; Magnusson et al. 1949; Ramdohr 1967). Disse betegnelser dækker over jernoxyd-hydroxid-rige sedimentter, der oprindeligt udskiltes som geler med vekslende indhold af vand og af urenheder som  $SiO_2$  og  $MnO$  med flere. Jernet foreligger som ferri-ion. Med tiden

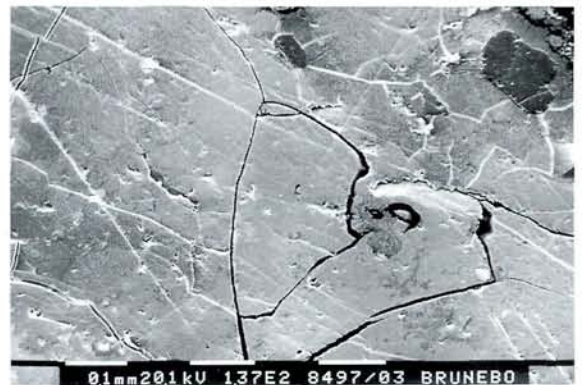


Fig. 22. Polerprøve af fast dansk myremalm fra Bruneborg, Østbirk sogn. Det meste er limonit, som er krakeleret. Lokalt et par mørke sandkorn. Analysen viser, at limonitten består af goethit,  $\alpha-FeOOH$ , som indeholder store mængder  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$  og  $CaO$  ret jævnt fordelt. Målestokkens afsnit er 0,1 mm. Philips SEM foto.

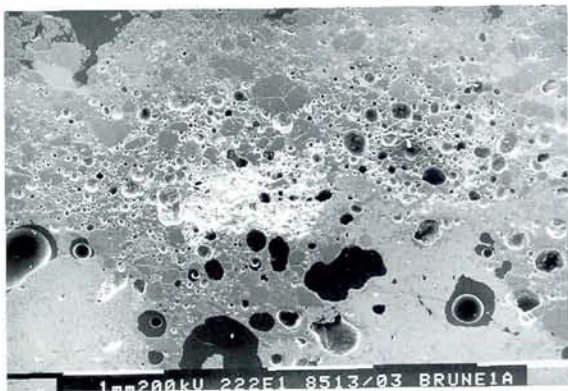


Fig. 23. Polerprøve af fast dansk myremalm fra Bruneborg, Østbirk sogn. Porøs og hullet og med mange mineralcorn, de fleste af kvarts. Målestokkens afsnit er 1 mm. Philips SEM foto.



Fig. 24. Polerprøve af fast dansk myremalm fra Søborg, Nordsjælland. Tætte partier til venstre veksler med mere åbne, krakelerede partier. Målestok 0,1 mm.

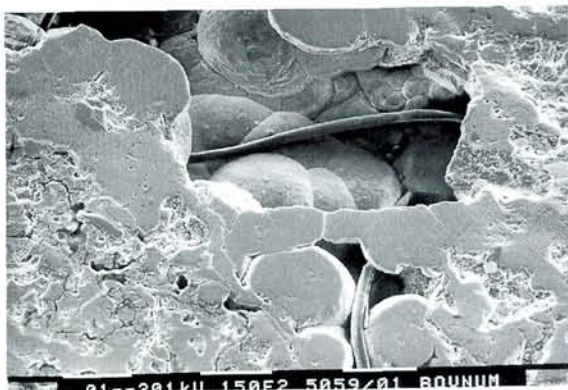


Fig. 25. Polerprøve af fast dansk myremalm fra Bounum, nord for Varde. Tætte og porøse partier veksler. Enkelte skarpkantede, grå corn er kvarts. Der ses en trådet plante-rest. Målestokkens afsnit er 0,1 mm. Philips SEM foto.



Fig. 9. Nærbillede af et hjørne på Højby kirke, Odsherred. Kvadre af myremalm og marksten, samt almindelige murensten. April 1992.

modnes limonitten under afgivelse af vand og opnår en vis krystallin struktur. Røntgenundersøgelser har vist, at limonittens hovedbestanddel er en yderst fin-kornet goethit,  $\alpha$ -FeOOH.

Limonit optræder i mange varianter, f.eks. Nadel-eisenerz, Brauner Glaskopf, Samtblende og oolitisk brunjernsten (Ramdohr og Strunz 1967). Myremalm og sømalm er et par af varianterne. Af den faste myremalm og sømalmen kan der laves polerprøver. Disse afslører en noget porøs struktur, hvor massive limonitpartier veksler med mere åbne partier, Fig. 22–26. Egentlige jern-, mangan- eller fosformineraler optræder normalt ikke. Limonitten er opak og har en relativ jævn refleksionsevne med en brunlig til blågrå farve. Den optræder som en cement, der ofte viser krakeleringsrevner. Spredt i limonitcementen forekommer kvartspartikler (sandkorn) i størrelsen 0,01–1 mm, og ofte i meget stor mængde. Hist og her kan man påvise corn af feldspat, ilmenit,  $\text{FeTiO}_3$ , zirkon,  $\text{ZrSiO}_4$ , og kobberkis,  $\text{CuFeS}_2$ , dette sidste bl.a. i en myremalm fra Tranemo, Vester Götland, Fig. 27. De forskellige dele af polerprøverne fremstår i svagt re-



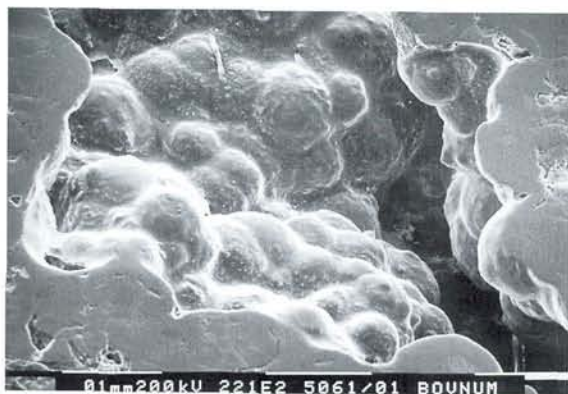


Fig. 26. Polerprøve af samme malm som Fig. 25. Et større hulrum, der antyder den oolitiske tilvækst. Målestokkens afsnit er 0,1 mm. Philips SEM foto.

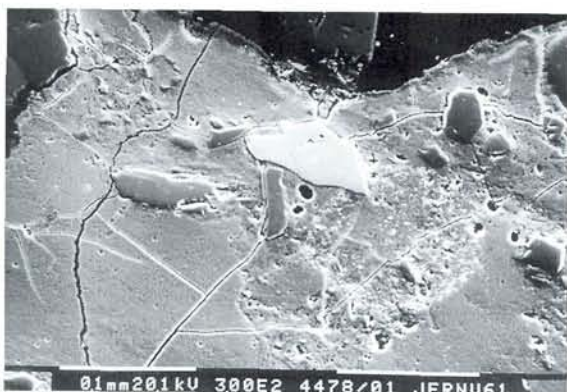


Fig. 27. Polerprøve af fast svensk myremalm fra Jernvirke (Nr. 61), Tvååker sogn, Halland. Krakeleret limonit med syv mørke kvartspartikler og et større, hvidt zirkonkorn. Målestokkens afsnit er 0,1 mm. Philips SEM foto.

lief, fordi der er beskedne hårdhedsforskelle i matrix. Ofte iagttages zoner og indre hulrum, hvis overflade antyder en oolitisk tilvækst, Fig. 25–26. Ifølge Ussing (1913:302) findes vivianit,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ , ret hyppigt i den faste, danske myremalm. Vivianitten udfylder hulrum i malmen som pulver, der i frisk tilstand er hvidligt, men som ved henliggen i luften antager den karakteristiske blå farve.

Sømalmen består af koncentrisk opbyggede zoner af limonit, hvori kvarts og enkelte ilmenitpartikler er indlejrede. De enkelte bønner eller perler kan være kimdannede på organisk materiale, der senere er forsvundet, på skeletrester af mikroorganismer eller på mineralkorn (Naumann 1922). Zonerne kan være homogene med hensyn til jern, mangan og fosfor, eller de kan udvise stærk heterogenitet. Søalm med skiftevis lyse og mørke zoner viste sig at indeholde nikkel, kobolt og vanadin variationer, som tolkedes som årringe, eller klimatisk betinget tilvækst (Alfsen &

Christie 1972). I en 5 mm sømalmsbønne fra Huseby Bruk fandt jeg

|            |                               |           |          |
|------------|-------------------------------|-----------|----------|
| Yderzone:  | 71,8% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 15,7% MnO | 1,4% BaO |
|            | 0,30% $\text{P}_2\text{O}_5$  |           |          |
| Inderzone: | 85,0% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 2,2% MnO  | 0% BaO   |
|            | 0,70% $\text{P}_2\text{O}_5$  |           |          |

så der er klare variationer, og variationer af en karakter, der ikke tillader en sortering af bønnerne med henblik på en teknisk adskillelse.

Røntgendiffraktion foretaget på danske pulvere, der er tørret ved  $20^\circ\text{C}$ , viser tilstedeværelsen af goethit,  $\alpha\text{-FeOOH}$ . Diffraktionstoppene er imidlertid små og bløde, hvilket peger på en lille kornstørrelse eller en ringe krystallinitet. Espelund (1991) har undersøgt norske myremalme ved røntgendiffraktion og har ligeledes fundet goethit som den eneste krystalline komponent. Der kan ikke iagttages nogen sammenhæng mellem malmenes kemiske sammensætning og krystalliniteten.

### Myremalmens dannelse

Indledningsvis vil vi betragte situationen rent kemisk og benytte Pourbaix diagrammerne for jern og mangan som reference (Rueslåtten 1985). Disse har vandets surhedsgrad, pH, som abscisse og elektrodepotentialet, E volt, som ordinat. Temperatur og tryk fastholdes ved henholdsvis  $25^\circ\text{C}$  og 1 atmosfære. På basis af fysisk-kemiske data beregnede Pourbaix, hvilke jern- og manganforbindelser, der er stabile som funktion af potentiale (iltadgang) og pH ved reaktion mellem metallerne og vand, Fig. 28. Diagrammets grænselinier er fastlagt under forudsætning af, at reaktionsprodukterne har en koncentration på  $10^{-6}$  mol/l i opløsningen i ligevægt.

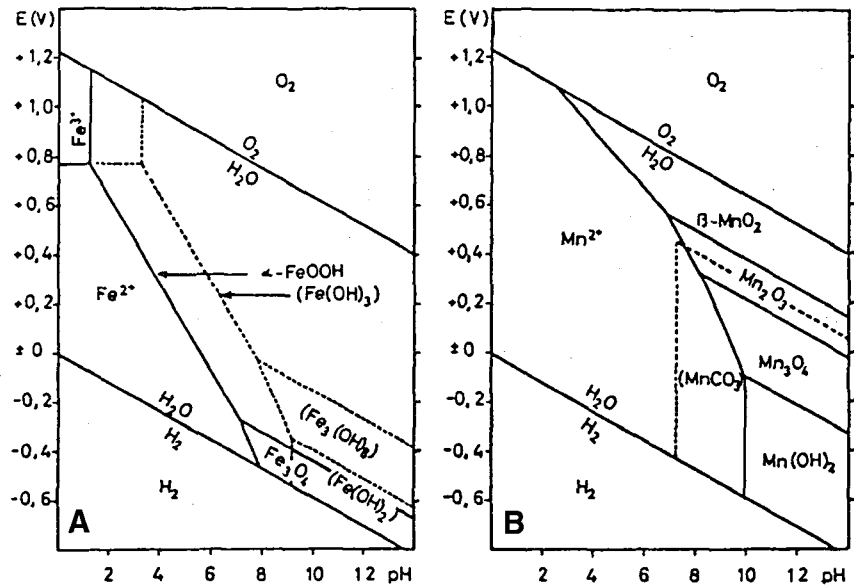
Den skrå linie, som er markeret  $\alpha\text{-FeOOH}$ , goethit, viser betingelserne for følgende ligevægt



Reaktionen udtrykker, at opløste ferroioner reagerer med luftens ilt og med vand under dannelse af goethit, idet vandet samtidig bliver noget mere surt, dvs. at pH falder. Reaktionen går mod højre, når der tilføres nye ferroioner, og der er tilstrækkelig adgang for ny ilt. Udfældning af  $\text{Fe}^{+++}$  som tungt opløseligt  $\text{FeOOH}$  finder således sted, enten ved at man bevæger sig opad i diagrammet, dvs. øger ilttrykket, eller ved at man går mod højre, dvs. bevæger sig mod et mere basisk miljø.

Mangano-rige opløsninger opfører sig på lignende måde, men udfældning kræver noget højere pH, til højre for neutralpunktet 7,0, og med det normale  $\text{CO}_2$  tryk i jordvandet vil det være mangankarbonat, der udfældes. Efterhånden omdannes dette ved iltning til  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  og  $\text{MnO}_2$ , brunsten. Man kan forvente, at re-

Fig. 28. A. Stabilitetsområder for forskellige jernforbindelser som funktion af pH og ilt-potentiale, et såkaldt Pourbaix diagram. Stabilitetsgrænsen for myremalmsmineralet  $\alpha$ -FeOOH, goethit, er vist med en fuldt optrukket streg. B. Stabilitetsområder for forskellige manganforbindelser som funktion af pH og ilt-potentiale. Stabilitetsområdet for  $MnCO_3$  er angivet med en prikket linie (Rueslåttén 1985).



aktionerne ikke er slut hermed, idet der kan ske en vis udveksling mellem jern og mangan. Når manganforbindelser kommer i kontakt med opløste ferroioner, vil disse fældes som ferriioner, mens mangan går i opløsning som manganoioner,  $MnO_2 + 2 Fe^{2+} + 2 OH^- \Rightarrow Mn^{2+} + 2 FeOOH$  (Postma 1985).

Pourbaix diagrammerne antyder, at jernførende mineraler under sure og/eller reducerende betingelser kan opløses og derefter transporteres til steder, hvor de udfældes, fordi der er større pH eller mere oxiderende betingelser. Under gunstige forhold kan reaktionerne føre til opbygning af en egentlig malm.

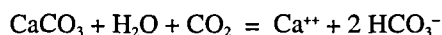
Nedbrydning af jordbundens plantemateriale sker under iltforbrug. Samtidig stiger porevandets kuldioxid indhold, fordi planterødder og mikroorganismer ånder. Nedbrydningen medfører også dannelsen af humussyrer og fulvosyrer, der medvirker til at skabe et surt miljø. For myremalmdannelsen er det især jordbundens indhold af de mørke mineraler af pyroxen- og amfibolgruppen, der har interesse som jernleverandør, hvortil kommer glimmermineralet biotit, samt olivin og forskellige jernholdige sulfider, i Danmark formentlig især svovlkis. Jern transporteres som  $Fe^{2+}$ , mangan som  $Mn^{2+}$ , men aluminium kræver kompleksdannelse med humussyrerne for at kunne transporteres som  $Al^{3+}$ .

Hvor grundvandet træder i dagen, kan der dannes okker pga det øgede ilttryk. Hvor grundvandet træder ud i søbunden, kan der dannes sømalm. Dette kræver, at bundvandets iltindhold til stadighed fornyes ved udveksling med overfladens iltrigere vand. Hvor grundvandet træder ud i moser og kær, dannes myremalm af norsk-svensk type. Rueslåttén har beregnet, at der i Numedal årlig er blevet udfældet 560 kg jern pr.  $km^2$  i form af jernoxider, siden isen forlod dette

område for 9000 år siden (Martens & Rosenqvist 1988). Formentlig har årstidernes vekslende temperatur og nedbør gennem deres indflydelse på de i Pourbaix diagrammet afbildede potentiale- og pH forhold indvirkning på malmdannelsen.

Rødjordsdannelsen sker ofte i forbindelse med kildevæld, hvor jernrigt vand trænger frem til overfladen under eget tryk. Vandet siver ud over det omliggende terræn og iltes, så ferriforbindelser sedimenterer, ofte over flere hektar. Hvor rødjord afsættes, er der kun magre, langstråede græsser, men efterhånden som afsætningen ophører, trænger andre, tættere græsser frem, og til sidst findes ingen særlig plantevækst til at røbe rødjordens tilstedeværelse. Rødjorden er en selvstændig myremalmstype. Den ændrer ikke sin tilstand og kornstørrelse med tiden, og den er ikke et forstadium til den egentlige myremalm (Englund 1994 B). På den anden side er det undertiden svært at opstille skarpe grænser mellem myremalm, okker og rødjord.

Ser man specielt på de danske forhold vil jeg støtte mig til Christensens fremstilling (1966). Jern kan, som Pourbaix diagrammet viser, kun opløses, hvis pH er under 7,5 og under reducerende forhold. Østdanmarks kalkholdige jordarter har pH over 7,5, hvilket betyder, at ingen betydelig opløsning og transport af jern kan forventes, før kalken er fjernet. Kalkopløsningen styres især af jordvandets kuldioxid indhold; pH af vand, der er i ligevægt med jordluft med 1%  $CO_2$ , er 4,95. Kalken opløses under dannelse af  $Ca^{2+}$  og  $HCO_3^-$  ioner, som transporteres bort og i et vist omfang afsættes som skorper og kildekalk.



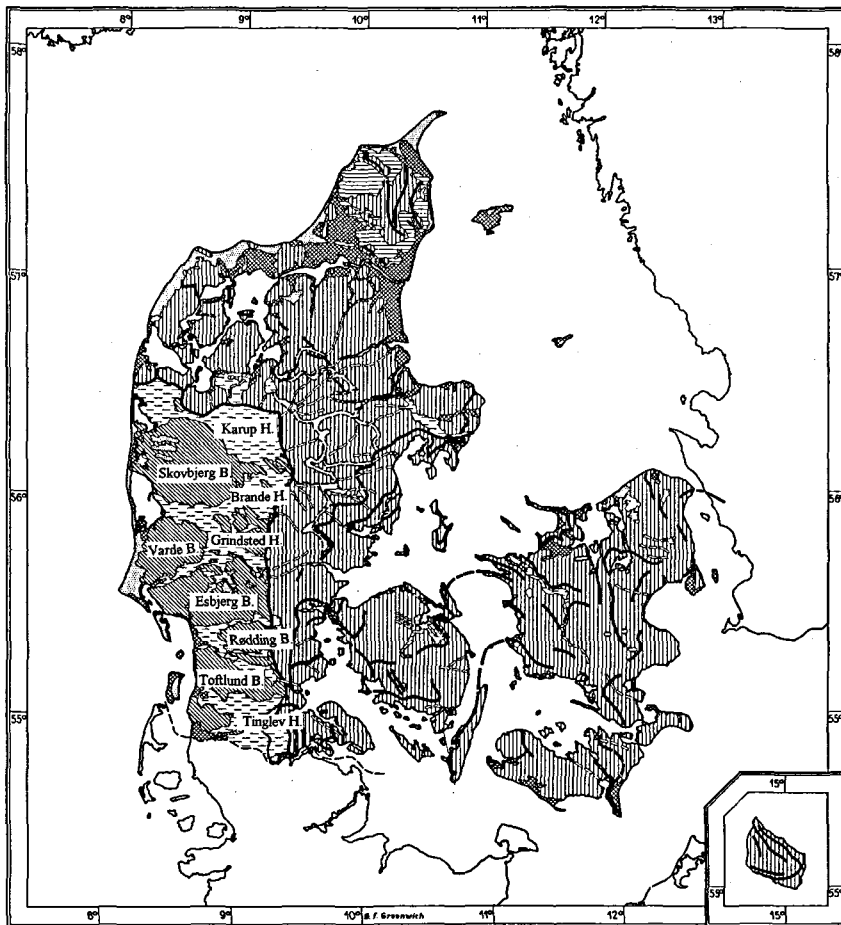
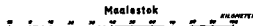
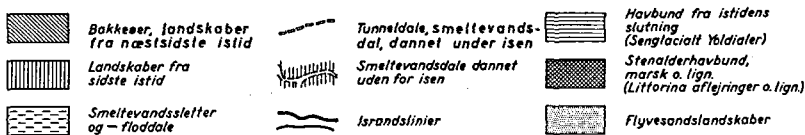


Fig. 29. Geologisk kort over hovedtrækkene i det danske kvartære landskab. Hedsletter (H.) og bakkeøer (B.) er markerede. (Hansen, S. 1965).



DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE 1954.

SIGURD HANSEN & KELD MILTHERS.

Med kalkens fjernelse fra overfladelagene vil disse befinde sig i et stadig mere surt miljø, pH 5–6, der virker hæmmende på den biologiske aktivitet. »Den sure front« (Christensen 1961) bevæger sig fremad under opløsning af overfladejordens jern- og manganforbindelser. Forudsætningen for udvaskning af  $\text{CaCO}_3$  og senere udviklingen af den sure front er, at der længe har hersket et fugtigt klima. Nettonedbøren i Vestjylland er med sine 450 mm det dobbelte af, hvad den er i Østdanmark. I de stærkt permeable aflejringer over grundvandet, som f.eks. hedsletternes sand, er kalken fuldstændig udvasket. Det er i disse egne, at myremalmen især har været udbredt. Dvs. den geokemiske udvikling er mere fremskreden i Vestjylland end

i den øvrige del af Danmark. Den vigtigste faktor i det regionale mønster er dog, at Østdanmark fik tilført store mængder af nyt overflademateriale under den sidste istid.

I Danmarks yngre aflejringer er der mange kalksedimenter, men man finder også kalkholdige jernsedimenter, en kalkholdig myremalm. Man er her nået et mellemstadium, hvor de stærkest vandførende lag er udvasket for kalk og derfor fører svagt surt, jernholdigt vand. Når den sure front efterhånden når frem til andre kalksedimenter, vil kalken opløses, indtil der er ligevægt (Christensen 1961). Herved stiger pH og  $\text{CO}_3$  koncentrationen. Der kan under disse forhold udskilles ferrokarbonat, mens calciumkarbonat oplø-

Fig. 10. Vejerslev kirke. Hovlbjerg herred. Blokke af myremalm skifter med marksten i norddørens indfatning. Døren er i sen tid blevet tilmuret med en barok gravsten. November 1990.



ses. Dersom udskillelsen sker under oxiderende omstændigheder, iltes ferro- til ferri-, men da ferrikarbonat ikke er en stabil fase, vil udskillelsen ske som ferrihydroxid, f.eks. goethit.

Indenfor sidste nedisningsområde findes kun spredte forekomster af myremalm, og denne er da næsten altid noget kalkholdig, som det også fremgår af analyserne i Tabel 2. På moræneflader med relativ høj grundvandsstand synes der ikke at optræde malm af andet end lokal betydning. Dette gælder således Lolland, Falster, Møn og dele af Sydsjælland, Fig. 6.

De store forekomster af myremalm ligger, eller lå, alle vest for hovedvandskellet ned gennem Jylland. Man har i områdets østlige del mange hedesletter med

et dybtliggende vandspejl, Fig. 29. I hedeslettens grove og kalkfattige aflejringer er kalken hurtigt blevet udvasket, og der er blevet skabt et surt miljø. Det nedsvende vand opløser og transporterer ionerne som ferro- og manganobikarbonat. Længere i vest nærmer grundvandspejlet sig jordoverfladen, og når det jern- og manganholdige vand her når frem til lavningerne, iltes det, og der afsættes myremalm og okker (Christensen 1966). Det må konkluderes, at myremalmen er dannet som FeOOH-geler, der under udfældningen har medrevet kolloider af hydratiserede forbindelser af Mn, Si, Ba, Ca, Al osv. Disses relative hyppighed er bestemt af de lokale forhold. Tillige har de detaljerede udskillelsesforhold sikkert været bestemt af års-

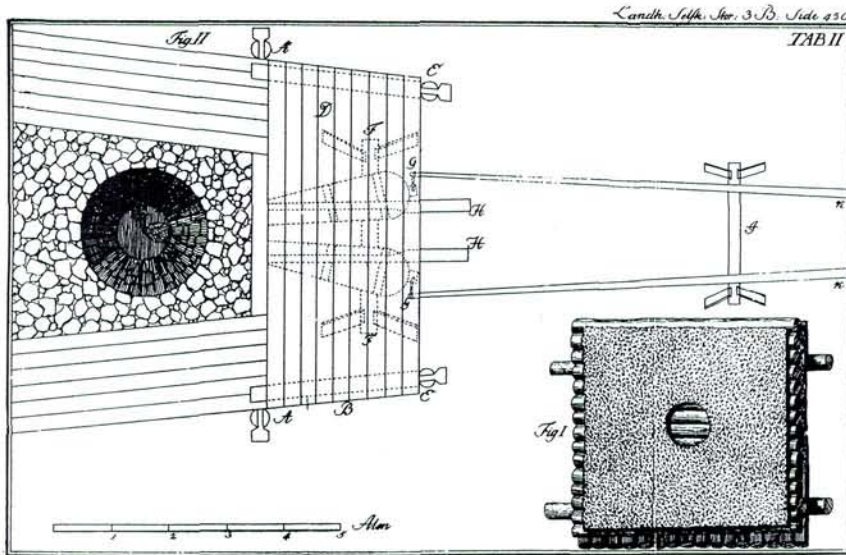


Fig. 30. Ristning illustreret af Evenstad (1790). På Fig. I (forneden til højre) ses ristnen fra oven. På Fig. II ses en blæsterovn med to blæsebælge, ligeledes fra oven.

tidens temperatur og nedbør, samt af pH og udluftning.

### Myremalmens Ristning

Myremalm har dannet basis for jernfremstilling i Skandinavien i over 2000 år. Andre steder i verden har myremalm kun haft helt underordnet betydning. Der anvendte man til direkte fremstilling af jern i blæsterovn bl.a. hæmatit (Elba, Etrurien, Spanien), lerjernsten (England) og siderit (Østrig), samt forskellige varianter heraf.

Den gamle, skandinaviske jernfremstilling kan opdeles i fire trin, der krævede hver sin herd eller ovn. Første trin var ristningen, der bestod i en begrænset opvarmning af malmen under oxiderende forhold. Andet trin var malmens reduktion, der gennemførtes i en blæsterovn. Tredje trin var lupperensningen, der skete på en simpel herd. Endelig fulgte udsmedningen af jernet til stænger eller brugsgenstande. Hertil benyttedes en smedeesse som den har været brugt helt op til vore dage. De to sidste operationer fandt ofte sted langt fra det sted, hvor malmen var gravet op.

Ristningen var en enkel operation, og den kunne gennemføres som f.eks. beskrevet af Evenstad (1790). På en tør forhøjning i nærheden af det sted, hvor myremalmen blev gravet op, lægges to træstammer, 6 m lange og 30 cm tykke og med en afstand på 4,8 m, Fig. 30. Ovenpå lægges der på tværs et lag stammer af omtrent samme størrelse, men nu ganske tæt sammen, deraf udtrykket ristning. Endelig lægges der et tredje lag, på tværs og af samme dimension. Alt træ må være tørt. På det øverste lag kastes der 10–12 læs soltørret, pulveriseret myremalm, så det danner et 40–45 cm tykt lag. Man sørger for en åbning i midten, som giver luft til forbrændingen. Ved hjælp af småt ved, fyr-

og grankviste antændes stokkene, og det hele får lov at brænde ned, idet man plejer bålet og skovler malmen omkring, så alle partier får en jævn behandling.

Beskrivelsen gælder den norske myremalm, men rødjord, sømalm og den faste, danske myremalm behandlede så vidt man ved på samme måde. Moderne eksperimenter viser, at den danske myremalm må have været temmelig svær at pulverisere før ristning, men let efter. Den er derfor sikkert blevet ristet i form af store klumper og derefter knust.

Blæsterovnene chargeredes med træ, eller trækul, og pulveriseret, ristet malm, og produktet var en slaggeblandet jernluppe, der endnu glødende måtte bankes sammen til en tæt jernkage eller klode, Fig. 5.

37

**Sydvestjydsk**  
**Myremalmsforretning i Ribe**

Grundlagt 1886

Prima hel og maskinknust Engmyremalm  
bedre end Okkermalm

Alltid ca. 20 Vognladn. paa Lager. Leveres i forskellige Finheder omg. paa alle Jernbanestationer

**M. Lindberg & Søn, Ribe - Telefon 23**

---

30

**JYDSK MYREMALM- & PLANTNINGSSLELSKAB**

Leders: H. Dalgas · Kontor: Ilskov · Telefon 5

Leverer **Okkermalm** og  
**knust Myremalm**

af PRIMA KVALITET fra dets Lejer i lkast

Fig. 31. To annoncer for myremalm i 1944. Fra tidsskriftet Gasteknikeren 21. august 1944.

Ved ristningen skifter myremalmen farve og bliver karakteristisk brunrød med en violet nuance. Den bliver tillige magnetisk. Ved arkæologiske undersøgelser af fortidens ovnpladser er det derfor muligt at skelne mellem uristet og ristet myremalm.

I dag ved vi, hvorfor ristningen var af så afgørende betydning for at opnå et godt smedejern i blæsterovnene. For det første blev malmen knastør, idet det kapillarbundne vand fjernedes allerede ved 100–150°C. Ved højere temperatur bortbrændte humus og plantedele, og sulfiderne oxideredes og fjernedes som svovldioxid. Svovl har altid været uønsket i jern, da det medfører rødskørhed, dvs. umuliggør jernets smedning. I temperaturområdet 350–675°C fjernedes det kemisk bundne vand under dannelse af det ustabile, magnetiske produkt maghemit,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Ved endnu højere temperatur omdannedes maghemit til den stabile, umagnetiske hæmatit,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . De nydannede, vandfri jernoxider havde en meget stor indre overflade og var let tilgængelige for reduktionsgasserne i blæsterovn.

Ved ristningen optrådte ret ujævne temperaturer, omkring 500–750°C, og ligevægt opnåedes ikke. Den ristede malm havde mistet 15–25% i vægt og bestod af en blanding af maghemit og hæmatit. Efter knusning var den et løst, magnetisk pulver; 24 l vejede kun 18 kg (Espelund 1993). Efter ristningen måtte malmen opbevares tørt, eller helst bruges umiddelbart.

## Den danske myremalms anvendelse i vor tid

I 1857 anlagdes Vestre Gasværk i København, hurtigt fulgt af Østre Gasværk i 1860. Med Bunsens opfindelse af Bunsenbrænderen (1860) var vejen åben for at benytte kulgassen som varmegas i industri og husholdning. Gasledninger af støbejern blev nedlagt overalt i nærheden af gasværkerne. Desværre var gasværkernes produkt stærkt forurenet af svovlbrinte og cyanforbindelser, der var for giftige til at få ud på nettet (Petersen 1990; Kragh & Petersen 1995).

I begyndelsen anvendte man kalk for at rense rågassen, men senere opfandt ingeniør J. C. G. Howitz (1821–1902) en metode, der satsede på at bruge myremalm. Myremalmen kostede nemlig mindre end en femtedel af kalken. Metoden blev videreudviklet af ingeniør Irminger, og den blev efter at have vist sin brugbarhed på Østre Gasværk efterhånden taget i brug på de fleste gasværker, både herhjemme og i udlandet. I 1951 var den genstand for en doktordisputats, der behandlede svovlbrintens reaktion med gasrensemasse (Bramslev 1951). Metoden benyttedes indtil de sidste kulgasværker blev nedlagt i 1980'erne i forbindelse med den almindelige overgang til benyttelse af naturgas, Fig. 31.

Myremalmens funktion kan beskrives ved følgende

## Igen dansk Myremalm til Ruhrs Jernværker

### Myremalm-Eksport for 2-3 Mill. Kr. i Aar

For nogle Aar siden blev der udført store Mængder dansk Myremalm til Jernværkerne i Ruhr, som brugte det danske Raastof som Tilslag til deres egen Malm. I 1952 blev det saaledes til langt over 100.000 Tons. Det var i nogen Grad et Konjunkturfænomen, og man regnede med, at efterhaanden som den tyske Produktion antog normale Former, vilde Anvendelsen af dansk Myremalm ophøre. Eksporten faldt da ogsaa i hurtigt Tempo. Men efter hvad Erhvervenes Oplysningsraad erfarer, bliver der nu igen eksporteret haard Myremalm til Vesttyskland, og en enkelt af Eksportørerne har for Tiden en Ordre i Gang paa 15.000 Tons, hovedsagelig til Ruhr.

Det ventes, at der alt i alt vil blive udført 70–80.000 Tons Myremalm i Aar. Det svarer til 2–3 Mill. Kr. En Del af dette Kvantum omfatter den bløde Okkermalm, der hovedsagelig anvendes som Gasrensemasse, og for hvilken der er et ret fast Marked, især i England og Sverige. Men der sendes ogsaa undertiden mindre Partier over betydeligt større Afstande, saaledes er der for nylig gaaet Myremalm til Indien og Cypern.

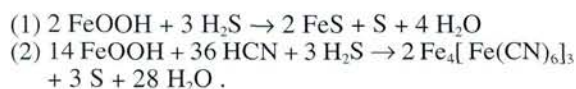
Den stærkt manganholdige Myremalm maa af Hensyn til Anvendelsen i dansk Industri ikke udføres, idet der kun findes ret begrænsede Mængder af denne Malm. Mangansulfatfabrikken i Bolderslev, ca. 15 km Sydvest for Aabenraa, anvender denne Malm til Produktion af Mangansulfat, der bruges som Kunstgødning mod visse Mangelsygdomme. Det aarlige Forbrug her i Landet er paa 7–800 Tons. Indtil Bolderslev-Fabrikken blev oprettet for faa Aar siden, blev det hele importeret, men selv om der skal ske en vis Import, bliver Størstedelen dog nu leveret fra den sønderjydske Fabrik. Dens aarlige Produktion er ca. 1500 Tons, og henimod 1000 Tons gaar til Eksport, særlig til de øvrige skandinaviske Lande, men ogsaa f. Eks. til Brasilien. Mindre Mængder af den manganrige Malm bruges ogsaa af Cement-Jernkonsortiets Fabrik i Aalborg og af Staalvalseværket i Frederiksværk.

Fig. 32. Udklip fra Berlingske Tidende 6. oktober 1955, der omtaler den store interesse for de danske myremalmsforekomster.



Fig. 11. Gjellerup kirke, Hammerum herred. Danmarks ældst daterede landsbykirke, 1140. I triumfbuen giver skiftet mellem mørk myremalm og lysere marksten en smuk effekt. November 1990.

ligninger. Den første behandler reaktionen mellem myremalm og svovlbrinte, mens den anden behandler reaktionen mellem myremalm og cyanbrinte. I begge tilfælde er goethit den aktive bestanddel, mens de øvrige komponenter her blot betragtes som urenheder.



Der dannes jernsulfid, svovl og berlinerblåt. Efterhånden som massen mættes med reaktionsprodukter, må den enten regenereres eller udskiftes. Den brugte gasrenssemasse er olivengrøn, giftig og ildelugtende, men den er langt fra uden interesse, da man kan ekstrahere den for de værdifulde svovl- og cyanforbindelser. Den eksporteres i reglen til kemikaliefabrikkerne langs Rhinen eller til svovlsyrefabrikker i Tyskland (Raaschou 1949). Berlinerblåt omdannedes her til cyanalte, der anvendtes i saltsmeltebad for stålhærdning

eller i gulderlandene til ekstrahering af guld fra de finknuste guldmalme.

Ifølge driftsbestyrer Irminger ved Østre Gasværk var forbruget af jysk myremalm ved de danske gasværker i 1900 ca. 1100 t til en værdi (1900) af 10 kr. pr. t. Forbruget steg på det tidspunkt med 10% om året (Ussing 1902). I 1934 eksporteredes der 3400 t brugt gasrenssemasse, især til Tyskland (Hansen 1943). I 1943 var forbruget af myremalm herhjemme 2000 t om året, hvoraf alene 1200 t faldt på Københavns Belysningsvæsen.

Myremalmen eksporteredes således både som frisk og som brugt gasrenssemasse. Men desuden var der en vis eksport til tyske og engelske jernværker. Efterspørgslen var betydelig, og på et tidspunkt i 50'erne var der mindst ti eksportører, som afsatte malm fra hundredevis af arealer, fra grænsen i syd til Limfjorden i nord, Fig. 32.

Myremalmen blev i en periode brugt som et væsentligt tilskud til de malme, der anvendtes på »Norden«, Aalborg, til råjerns fremstilling (Buchwald 1987).

Her havde F. L. Smidth i 1939 igangsat en helt ny proces, hvor man i en roterovn på samme tid fremstillede cementklinker og råjern. Pga. Anden Verdenskrig og senere kriserne i forbindelse med Koreakrigen fik denne virksomhed en ret lang levetid. Fabrikken lukkede først i 1972, da priserne ved Danmarks indtræden i Fællesmarkedet forskød sig på ugunstig måde. Cement-Jern Konsortiet producerede i 1960'erne over 70,000 t råjern om året, og ved lukningen i 1972 havde man ialt produceret 1,56 millioner t råjern. Det foreligger ikke oplyst, hvor stor en del af råvarerne, der udgjordes af myremalm, men et forsigtigt skøn peger på, at man ialt har aftaget 0,6 millioner t over 32 år, heraf en væsentlig del i form af manganrige myremalme.

Man har skønnet, at der fra 1860 til 1950 blev opgravet henved 400,000 t myremalm, og fra 1950 til 1960 blev der yderligere opgravet 1,2 millioner t. Det største eksportår var 1952, da der udskibedes 178,600 t, især via Esbjerg (Christensen 1966). Herefter faldt forbruget langsomt, for på det nærmeste at gå helt i stå sidst i 1980'erne, dels pga. at al gasproduktion blev baseret på naturgas, dels pga. at Europa blev oversvømmet af billige jernmalme fra Australien og Brasilien. Fra 1960 til 1997 kan forbruget anslås at have været ca. 2,4 millioner t. Således er der måske ialt fjernet henved 4 millioner t myremalm fra de jyske forekomster, og samtidig er dyrkningsforholdene på de nødlidende marker blevet forbedret.

Den sidste anvendelse, der fortjener at nævnes, er som råstof for en mangansulfatfabrik, der oprettedes i 1952 (Christensen 1966). Mangansulfat tjener som udgangspunkt for brunsten,  $MnO_2$ , der er en væsentlig bestanddel af såvel de gamle Leclanché tørelementer, som de moderne Alkaline batterier. Da mangan i en periode i 1940'erne og 1950'erne var en mangelvare, besluttedes det at satse på de manganrigeste af de jyske myremalme, der som vi har set let indeholder mere end 10% Mn, og sommetider endog mere mangan end jern. Mangansulfat blev også anvendt som tilskud til gødning for at imødegå visse mangelsygdomme. Fra 1953 til 1965 benyttede Dansk Mangansulfatfabrik A/S i Bolderslev 5000–6000 t myremalm om året. Prisforholdene gjorde dog, at fabrikken snart efter måtte lukke, og manganforbindelser kommer nu igen til Danmark ad de normale handelskanaler fra Java, Indien og Nordafrika.

## Tak

Inger Søndergaard takkes for kompetent assistance ved scanning elektronmikroskopet og Edith Johannsen for hjælp ved fremstilling af polerprøverne, begge ved Institut for Procesteknik, DTU. Olfert Voss, Benny Staal, Orla Madsen, Jettie van Lanschoot og Lene Høst-Madsen takkes for hjælp med at fremskaffe prøver. Endelig takker jeg H. J. Styhr Petersen og Rasmus Jakobsen for deres kritiske gennemlæsning af manu-

skriptet. Projektet er blevet støttet af Industriens Uddannelsesfond.

## Litteraturhenvisninger

- Alfsen, B. E. & Christie, O. H. J. 1972: Fra kulturhistorie til geokjemi. Om sjømalmen i Storsjøen i Odalen. *Naturen* 96, 5–14.
- Andersen, S. A. 1940: Et dansk jernmalmleje. *Naturhistorisk Tidende* 4, 99–100.
- Arrhenius, O. 1967: Ore, iron, artefacts and corrosion. *Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C* 626, 1–39.
- Bannbers, O. 1922: Något om myrjärnshandtering i övre Västerdalerna samt Särna. *Jernkontorets Annaler*, 75–93.
- Boysen, F. 1989: Myremalmsbyggeri i Midtjylland. *Uldjysk Historie* 1, 20–43.
- Bramslev, E. 1951: Reaktionshastigheden for svovlbrinte i gasrensemasse. *Disputats. København*.
- Brünnich, M. T. 1777: *Mineralogie*. København. 321 pp.
- Buchwald, V. F. 1987: Cement-Jern Konsortiet »Norden«, Aalborg. *Dansk Metallurgisk Selskabs Årbog*, 23–44.
- Buchwald, V. F. 1991: Jernfremstilling i Danmark i Middelalderen – lidt om bondeovne og kloder. *Aarbøger Nordisk Oldkyndighed og Historie*, 265–286.
- Buchwald, V. F. & Voss, O. 1992: Iron production in Denmark in Viking and Medieval time, i *Bloomery Ironmaking during 2000 years* (red. A. Espelund) 2, 31–43. Trondheim
- Christensen, W. 1952: Den jyske myremalms dannelse og anvendelse som jern- og manganmalm. *Medd. Dansk Geologisk Forening* 12, 320–322.
- Christensen, W. 1961: Nogle geokemiske betragtninger. *Den sure front. Hedeselskabets Tidsskrift* 6, 93–101.
- Christensen, W. 1966: Myremalm. *Dansk Natur, Dansk Skole, Årsskrift*, 41–67.
- Englund, L.-E. 1994A: Experimentell järnframställning i rekonstruerad vikingablästa. *Med Hammare ock Fackla* 32, 35–57.
- Englund, L.-E. 1994B: Vikingatida blästbruk i Västsverige, med särskild hänsyn till förhållandena i Kind. *Fässingen, Från Borås och de sju Häraderna* 42, 7–38.
- Espelund, A. 1991: Bog iron ore for the bloomery process, i *Bloomery Ironmaking during 2000 years* (red. A. Espelund) 1, 36–49. Trondheim.
- Espelund, A. 1993: The value of tradition in ironmaking, i *Bloomery Ironmaking during 2000 years* (red. A. Espelund) 3, 149–163. Trondheim.
- Evenstad, O. 1790: Afhandling om Jern-Malm, som findes i Myrer og Moradser i Norge. *Kgl. Landhuusholdnings-selskab. Genudgivet med kommentarer af A. Espelund*, 1992, 96 pp. Forlaget Arketype, Trondheim.
- Forchhammer, J. G. 1869: Danmarks teknisk vigtige Mineralforekomster. (Foredrag holdt i Industriforeningen 1847–1848). *Almeenfattelige Afhandlinger og Foredrag ved F. Johnstrup*.
- Frydendahl, H. C. 1932: Jernudvinding på Fyn i gamle dage. *Svendborg Amts Historiske Samfund*, 116–120, Nyborg.
- Grönwall, K. A. & Milthers, V. 1916: Kortbladet Bornholm. *Danmarks Geologiske Undersøgelse I Rk.* 13, 237.
- Hansen, S. 1943: Udnyttelsen af danske Myremalm- og Okkerlejer i nyere Tid. *Naturhistorisk Tidende* 7, 69–70.
- Hansen, S. 1965: *The Quaternary of Denmark. I: Rankama, K. (red): The Quaternary, vol. 1. Interscience Publishers, New York*, 1–90.



- Hauge, T. Dannevig 1946: Blesterbruk og Myrjern, 221 pp. Universitetets Oldsaksamling, Oslo.
- Härö, E. (red.) 1994: Leineperin rautaruukki. The Leineperi Ironworks. Museoviraston Rakennushistorian Osaston Raportteja. 74 pp. Helsingfors.
- Högbom, A. G. 1894: Praktiska geologiska undersökningar inom Jämtlands Län. Sveriges Geologiska Undersökning, C 140.
- Iron and Steel in Sweden, 1920: Jernkontoret och Svenska Teknologföreningens Förlag, Stockholm. 183 pp.
- Johansson, A. (red.) 1931: Analyser å svenska järn- och mangan-malmer, samt kalkstenar, dolomiter och kvartser. II. 104 pp. Jernkontoret. Stockholm.
- Kragh, H. & Styhr Petersen, H. J. 1995: En nyttig viden-skab. Episoder fra den tekniske kemis historie i Dan-mark. 390 pp. Gyldendal.
- Kristiansen, H. 1960: DGU's arkiv over analyser på myre-malm og okker. Personlig meddelelse, 1988.
- Langebek, J. 1758: Anledning til en Historie om de norske Bergverkers Oprindelse og Fremvekt. Kgl. Danske Vi-denskabernes Selskabs Skrifter 7, 235–526.
- Linné, C. von 1734: Linnés Dalaresa jämte Utlandsresan och Bergslagsresan. Kommenteret udgave, Red. A. Uggla. 1953, 432 pp. Uppsala.
- Linné, C. von 1746: Carl von Linnés Västgötaresa 1746. Faksimileedition. 1956, 284 pp. Malmö Lystrycksanstalt.
- Lundqvist, G. 1942: Sjösediment och deras bildningsmiljö. Sveriges Geologiska Undersökning, C 446.
- MacKey 1982: Myten om Ubsola. 168 pp. Skövde Offsettryck AB.
- Magnusson, G. 1986: Lågteknisk järnhantering i Jämtlands län. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 22. 437 pp. Disputats. Stockholm.
- Magnusson, N. H., Granlund, E. & Lundqvist, G. 1949: Sve-riges Geologi. 424 pp. Norstedts, Stockholm.
- Markbøger 1683: Rigsarkivets Markbøger. Udskrifter heraf i Institut for Navneforskning, Københavns Universitet, Njalsgade.
- Martens, I. 1992: Iron in southeastern Norway in the medi-eval period, i Bloomery Ironmaking during 2000 years (red. A. Espelund) 2, 55–68. Trondheim.
- Martens, I. & Rosenqvist, A. M. 1988: Jernvinna på Møss-trond i Telemark. 189 pp. Universitetets Oldsaksamling. Oslo.
- Mortensen, R. 1939: Jysk jærn. Jyske Samlinger 5.Rk., 4, 91–213.
- Naumann, E. 1922: Södra och mellersta Sveriges Sjö- och Myrmalmer. Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C, 297. 193 pp.
- Nielsen, N. 1924: Studier over Jærnproduktionen i Jylland. 189 pp. Disputats. Københavns Universitet.
- Nielsen, N. 1941: Jernproduktionen i Danmark, i Ranløv, A. & Henriksen, E. K.: Jern og Staal, 1, s. 84–134. Kø-benhavn.
- Nihlén, J. 1927: Äldre järnhantering på Gotland. Jernkon-torets Annaler, 679–725.
- Nihlén, J. 1932: Studier rörende äldre svensk järntillverk-ning med särskild hänsyn till Småland. Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie, 2. 211 pp. Stockholm.
- Nihlén, J. 1939: Äldre Jærntillverkning i Sydsverige. Jern-kontorets Bergshistoriska Skriftserie 9. 139 pp. Stock-holm.
- Nikander, G. 1928: Myr- och sjömalmsmältning i äldre tid. Historisk Tidsskrift för Finland
- Noe-Nygaard, A. 1962: Geologi. Processer og Materialer. 422 pp. Gyldendal.
- Percy, J. 1864: Metallurgy. II. Iron and Steel. Reprint Edi-tion. 1984, Part 1: 322. The Historical Metallurgy Soci-ety, London.
- Petersen, H. J. Styhr 1990: Kulgas, et bidrag til teknikkens historie i Danmark. Historisk-kemiske Skrifter 1. 66 pp. Dansk Selskab for Historisk Kemi.
- Pettersson, T. J. E. 1982: Myrmalmen och dess rostning. Björklund, S.: Lima och Transtrand, Myrjärn och Smide, s. 35–68. Malungs Kommun.
- Pontoppidan, E. 1769: Den Danske Atlas, Tomus V, 2.
- Postma, D. 1985: Concentration of Mn and separation from Fe in sediments. Geochimica and Cosmochimica Acta, 49, 1023–1033.
- Ramdohr, P. & Strunz, H. 1967: Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie. Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Rinman, C. 1794: Kortt underrättelse om sättet att smälta sjö- och myrmalmer uti blåsterugnar. Oversat af L. J. Hukkinen. Jernkontorets Bergshistoriska Utskott H 66, 1997.
- Rinman, S. 1782: Försök till Jærnets Historia med Tillämp-ning för Slögder och Handtwerk. 1084 pp. Stockholm.
- Rinman, S. 1788–1789: Bergwerks Lexicon, I-II. Stock-holm.
- Rueslätten, H. 1985: Dannelse av myrjærn. i I. Berre: Fra malm i myra til stål i smia, s. 31–37. Skogn Ungdoms-skole.
- Rørdam, K. 1893: De geologiske Forhold i det nordøstlige Sjælland. Danmarks Geologiske Undersøgelse, I Rk., 1. København.
- Rørdam, K. 1899: Beskrivelse til Geologisk Kort over Dan-mark. Kortbladene København og Roskilde. Danmarks Geologiske Undersøgelse I Rk., 6. København.
- Raaschou, P. E. 1949: Forelæsninger over Almen Teknisk Kemi. s. 285 ff. Gjellerup.
- Schrøder, L. 1898: En konstituerende Generalforsamling i et Plantageselskab. Hedeselskabets Tidsskrift 18, 41–43.
- Serning, I. 1973: Förhistorisk järnhantering i Dalarna. Jern-kontorets Forskning H, 9, 139 pp. Stockholm.
- Swedenborg, E. 1734: Om Jærnet. Oversat fra latin og redi-geret af Hjalmar Sjögren. 1923, Folio, 470 pp. Stock-holm.
- Thuesen, G. 1977: Noen norske jærnverker. Jernkontorets Forskning H, 15, 72 pp.
- Thunmark, S. 1937: Über die regionale Limnologie von Südschweden. Sveriges Geologiska Undersökning. Års-bok 31, 6.
- Ussing, N. V. 1902: Mineralproduktionen i Danmark ved Året 1900. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk., 12, p. 18.
- Ussing, N. V. 1913: Danmarks Geologi i almenfatteligt Omrids. 3. udgave. Danmarks Geologiske Undersøgelse III Rk., 2. 373 pp.
- Wedberg, V. 1984: Här gjordes äldste jærnet. Populär Ar-keologi, 2, Hefte 1. Lund.
- Wesenberg-Lund, C. 1901: Studier over Søalk, Bønne-malm og Søgtyje i danske Indsøer. Medd. Dansk Geolo-gisk Forening 7, 1–180.
- Åkerman, R. 1873: Några ord om Jærnhandteringens Stånd-punkt i Sverige vid Början af År 1873. 53 p. og kort. Stockholm.