

FORSTENEDE MAGNETER

P.Vallabh Sharma

GAMLE BÅL OG MODERNE VIDENSKAB

Scenen er en arkæologisk udgravning og i udgravningens mange faser er man nu nået til bålstedet, hvor oldtidens mad blev tilberedt, og hvor lerkarrene blev brændt (figur 1). Med libeller og kompasser indmåles den nøjagtige orientering af brændte lerklumper og potteskår, og som om de var værdifulde smykkefund, bringes de til laboratoriet. Her måles magnetiseringsretningen for hvert potteskår med følsomme magnetometre.

Hvorfor nu så omhyggelig med disse brændte stumper?

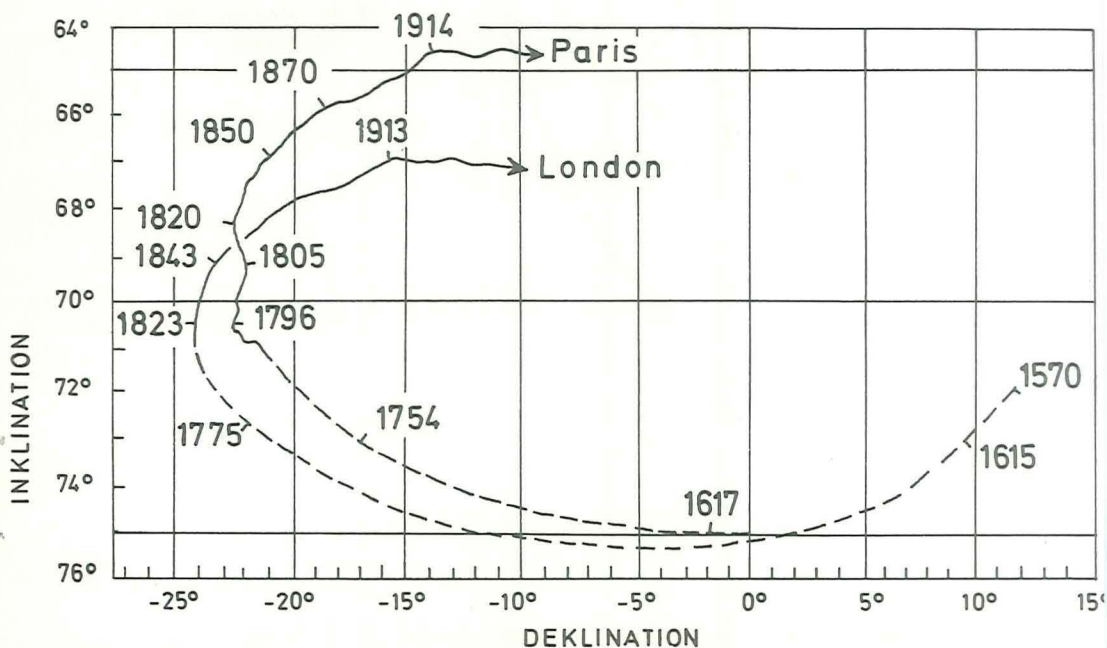


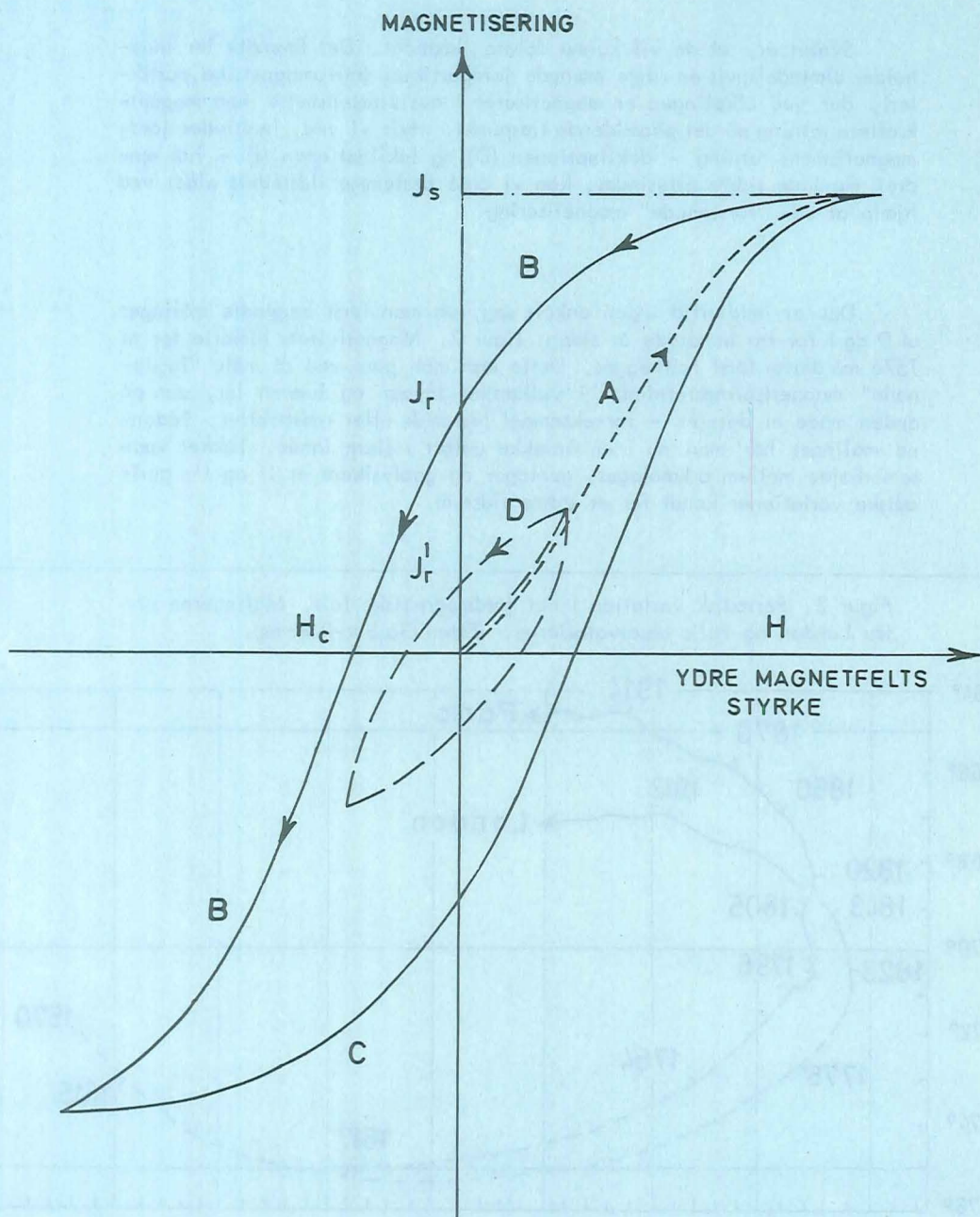
Figur 1. Ildsted og lerkar fra en jernalderlandsby ved Hurup i Nordvestjylland. (Nationalmuseet fot.)

Svaret er, at de vil kunne datere ildstedet. Det brændte ler indeholder almindeligvis en ringe mængde jernpartikler (ferromagnetiske partikler), der ved afkølingen er magnetiseret i overensstemmelse med magnetkraftens retning på det pågældende tidspunkt. Hvis vi ved, hvorledes jordmagnetismens retning - deklinationen (D) og inklinationen (I) - har ændret sig i de sidste årtusinder, kan vi også bestemme ildstedets alder ved hjælp af den "forstenede" magnetisering.

Det er imidlertid ingen enkelt sag, da man først begyndte målinger af D og I for tre hundrede år siden, figur 2. Magnetfeltets historie før år 1576 må derfor først fastlægges. Dette kan man gøre ved at måle "forstenede" magnetiseringsretninger i vulkanske lavaer og brændt ler, som på anden måde er dateret - for eksempel historisk eller radioaktivt. Sådanne målinger har man nu i en årrække udført i flere lande. Takket være samarbejde mellem arkæologer, geologer og geofysikere er D og I's periodiske variationer kendt for et større tidsrum.

Figur 2. Periodisk variation i det jordmagnetiske felt. Målingerne er fra London og Paris observatorierne. (Efter Gaibar-Puertas).





Figur 3. Magnetiseringskurve (hysterese-kurve) for et ferromagnetisk materiale.

De første interessante studier over "fossil"-magnetisme i bjergarter og brændt ler udførtes i 1938 i Tyskland af J.G.Königsberger og E.Thellier i Frankrig. Siden sidst i fyrrerne er disse studier blevet et af de mere yndede emner indenfor geofysikken, og resultaterne, der belyser ændringerne i Jordens magnetfelt, har blandt andet ført til nye opfattelser i de kontroversielle spørgsmål om polvandring og kontinentaldrift.

FYSIKKEN BAG "FOSSIL"-MAGNETISME

Magnetisering af ferromagnetisk materiale gennem et ydre magnetfelt er vist på figur 3 - en såkaldt hysteresekurve. Hvis man udsætter magnetiserbart materiale, som ikke i forvejen er magnetiseret for et magnetfelt, vil magnetiseringen (J) stige med styrken af magnetfeltet (H) efter den punkterede linie (A). På et vist tidspunkt stiger magnetiseringen ikke mere (J_s). Materialet er nu mættet med magnetisering. Hvis nu man lader det ydre magnetfelts styrke falde, aftager magnetiseringen af materialet efter kurven B og ikke efter kurven A. Selv hvis det ydre magnetfelts styrke falder til nul, vil det magnetiserede materiale alligevel have beholdt lidt magnetisme (J_r), - den såkaldte remanente magnetisme. Hvis det magnetiserede materiale er hårdt jern, vil den remanente magnetisme være stor - jernet er en permanent magnet.

Hvis man så vender det ydre magnetfelt modsat, vil magnetiseringen aftage langs kurven B og nå nulpunktet, når det ydre felt når en bestemt værdi (H_c). Denne værdi for det negative felt (H_c), ved hvilken der er opnået total afmagnetisering, kaldes den coersive kraft. Denne kraft er i virkeligheden - for det pågældende stof - den remanente magnetismes modstand mod afmagnetisering. En stor coersiv kraft er en forudsætning for en stabil permanent magnet.

For at kunne frembringe remanent magnetisme i et magnetiserbart materiale, er det ikke nødvendigt at nå helt op på mætningspunktet (J_s). Et ganske svagt magnetfelt er tilstrækkeligt. I et sådant tilfælde følges kurven D, og lidt remanent magnetisme (J_r') er frembragt. Det er netop dette der sker i naturen, når en bjergart, der indeholder ferromagnetiske mineraler, udsættes for Jordens svage magnetfelt med en intensitet på cirka 1 Ørsted.

MINERALER OG "FOSSIL"-MAGNETISME

Det er ikke alle bjergartsdannende mineraler, der er ferromagnetiske, men en bjergart indeholder som regel små korn af jernoxider - magnetit og hæmatit. Det er oftest disse to mineraler, der - selvom de kun udgør 1% af bjergarten - er ansvarlige for bjergartens svage magnetiske egenskaber. Målt med følsomme instrumenter kan man fremstille en hysteresekurve og derved få et indtryk af bjergartens remanent-magnetiske egenskaber.

Magnetit - eller magnetjernsten - er, som navnet også siger, stærkt magnetisk. Hæmatit - jernglans eller blodsten - er nogle hundrede gange svagere i sin magnetiske intensitet. Ren magnetit (Fe_3O_4) og hæmatit (Fe_2O_3) indeholder kun jern og iltatomer. Ofte er imidlertid en del af jernet i hæmatit og magnetit udbyttet med andre atomer, især titanium. Sådanne titano-magnetiter og titano-hæmatiter er derfor oftest de ansvarlige mineraler, når det gælder bevarelsen af gamle magnetiske retninger fra bjergarternes dannelses-tidspunkt.

VULKANSKE BJERGARTER SOM PERMANENTE MAGNETER

En fastsiddende bjergarts remanente magnetisme ude i naturen betegnes ofte den naturlige remanente magnetisme (NRM). En vulkansk bjergart har et NRM i overensstemmelse med det herskende jordmagnetfelt på det tidspunkt, hvor den størknede fra flydende lava. De fleste vulkanske bjergarter viser sig at have en relativt stærk og stabil remanent magnetisme - en såkaldt thermoremanent magnetisme (TRM). Thermoremanent magnetisme kan eftervises i laboratoriet ved at opvarme en bjergart til høj temperatur og derefter afkøle den i et svagt magnetfelt, som for eksempel det nuværende jordmagnetiske felt. Herved viser det sig, at en magnetiserbar substans - for eksempel en bjergart - opnår langt størsteparten af sin TRM, idet temperaturen under afkølingen passerer materialets Curie-punkt, det vil sige den temperatur, hvor magnetiserbarhed overhovedet er mulig. Laboratorie-eksperimenter har for eksempel vist, at en bjergart med et Curie-punkt på 500°C , opnår næsten alt sin TRM, idet temperaturen passerer fra 500°C til 450°C .

TRM er ikke blot stærk, men den er også stabil. Almindelig remanent magnetisme, stammende fra et magnetfelt på 1 Ørsted, ville fuldstændig forsvinde ved en svag opvarmning, eller ved at den udsættes for et modsat rettet felt på cirka 1 Ørsted. TRM, som er opnået i et felt på 1 Ørsted, vil derimod ikke påvirkes væsentligt i et modsat rettet magnetfelt på selv flere hundrede Ørsted, og opvarmning vil heller ikke have nogen indflydelse, medmindre temperaturen hæves helt op i nærheden af Curie-punktet. TRM yder derfor stor modstand eller stor coersiv kraft. Vi har lige set, at en stor remanent magnetisme og en stor coersiv kraft netop er karakteristisk for gode permanente magneter. Vulkanske bjergarter og brændt ler, som for eksempel potteskår, er derfor også ideelle permanente magneter. Det vil sige, at netop disse bjergarter forbliver upåvirkede gennem lange tidsrum, og de kan derfor anvendes som vidnesbyrd om jordmagnetfeltets egenskaber i fortiden.

MAGNETISKE "FOSSILER" I SEDIMENTER

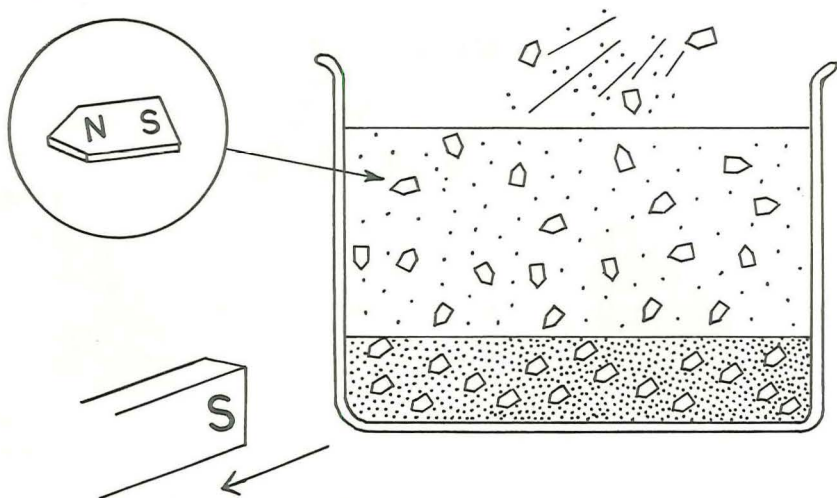
Til at begynde med koncentrerede man sig især om studiet af bjergarter, der var størknede fra et flydende magma, da disse bjergarter jo besejdede TRM, der især er let at måle. Senere, og især efter 1950, har man også arbejdet med sedimenter. Sedimenter er mere velegnede til magnetiske studier dækkende længere geologiske perioder, da aflejningsprocessen i højere grad er kontinuerlig i modsætning til de mere sporadiske vulkanudbrud.

Sedimenterne har imidlertid i modsætning til lavaerne ingen thermoremanente magnetisme, og det er da også andre mekanismer, der gør at disse bjergarter kan bevare det jordmagnetiske felts retning fra aflejningsøjeblikket.

Dette belyses af det lille eksperiment, der er illustreret i figur 4. Her er små magnetnåle blandet med sand og denne blanding hældes lidt efter lidt i vand i en glasbeholder. En magnet anbragt under glasset sørger for at denne kunstige sedimentationsproces foregår i et magnetfelt. Hvis vi bagefter måler på aflejringerne i glasset, finder vi, at den remanente magnetiserings retning ligger tæt op ad eksperimentets magnetfelts retning.

Det skyldes, at alle de små magnetiske nåle orienterer sig i overensstemmelse med magnetfeltet, idet de falder ned i vandet, og denne orientering fastholdes efter aflejringen af sandkornene, og ændres ikke selv om man fjerner magnetfeltet.

Således må man forestille sig sedimentære bjergarters remanente magnetisme (DRM) dannet.



Figur 4. Laboratorieeksperiment, der viser dannelsen af remanent magnetisme ved aflejring.

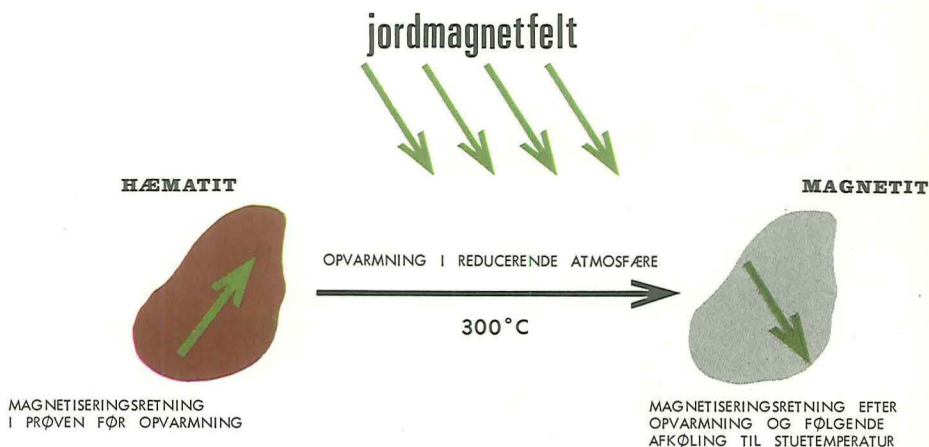
Der er imidlertid ulemper ved anvendelse af sedimentære bjergarters remanente magnetisme (DRM) i studierne af "fossile" magnetretninger. For det første er DRM cirka 100 gange svagere end TRM i for eksempel lavaer, og den kan derfor være vanskelig at måle. For det andet er inklinationen (magnetretningen i det vertikale plan) ikke helt i overensstemmelse med det oprindelige magnetfelts inklination, men cirka 15–20° mindre. For det tredje er DRM almindeligvis ikke så stabil som TRM.

KEMISK "FOSSIL"-MAGNETISME

Selvom sedimenternes naturlige remanente magnetisme i de fleste tilfælde menes at være fremkommet under aflejring (DRM), er der en hel del, der tyder på, at den remanente magnetisme også kan hænge sammen med kemiske ændringer, der har fundet sted efter aflejringen.

I nogle tilfælde dannes, længe efter bjergartens aflejring, nye ferromagnetiske mineraler i bjergarten. Dette sker ved kemiske omdannelser ved temperaturer langt under Curie-punktet. For eksempel kan grundvandet udskille jernoxider og hydroxider, der kan omdannes til hæmatit. Man skulle ikke forvente nogen stærk thermo-remanent magnetisme i sådanne tilfælde, men det viser sig imidlertid alligevel, at ferromagnetiske mineraler, dannet efter aflejringen viser en relativt stærk remanent magnetisme.

For at kunne forstå den kemiske remanente magnetisme udførte K. Kobayashi fra Tokyo universitet et simpelt eksperiment, figur 5, der bestod i - ved cirka 300° C og i jordmagnetfeltet - at danne magnetit ud fra hæmatit. Ved denne temperatur, der er cirka 280° under Curie-punktet for magnetit, ville der næppe opstå nogen TRM, men som forventet opstod der



Figur 5. Kemisk-frembragt remanent magnetisering. Magnetit dannes her ved en omdannelse af hæmatit.

alligevel en temmelig kraftig remanent magnetisering parallel med Jordens magnetfelt. Hermed var kemisk remanent magnetisme (CRM) påvist. Den skulle vise sig at få større betydning end først antaget, især da alt tyder på, at de vidtudbredte røde sandstens remanente magnetisme snarere er af kemisk karakter. Man behøver således ikke bekymre sig om de fejl med hensyn til inklinationen, som der måtte korrigeres for, hvis den remanente magnetisme var et resultat af aflejningsprocessen.

"SKYGGE MAGNETISERING" OG MAGNETISK RENGØRING

På ganske særlige lokaliteter, og endog fra prøver, som er skåret ud af borekerner, finder man i nogle tilfælde, at der er flere tilfældige magnetiseringsretninger. En sådan spredt magnetisering i den naturlige rema-



Figur 6. Apparat til afmagnetisering og magnetisk rensning. Palæo-magnetisk laboratorium ved Københavns Universitet.

nente magnetisering i en bjergart skyldes en forholdsvis kraftig "skygge-magnetisering", som kan være forårsaget af for eksempel lynnedslag på lokaliteten. Der er imidlertid også andre processer, der kan være ansvarlige for en omdannelse eller maskering af den ægte "fossile" magnetisme. Forvitring eller foldning af bjergarterne eller blot en trykpåvirkning af bjergarterne kan have en udviskende indflydelse på den oprindelige remanente magnetiseringsretning.

Man må derfor være meget omhyggelig med udvælgelsen af det materiale, der anvendes til undersøgelserne. Er lagene vippede, må man vide, hvordan de er vippede, og man må så korrigere for den bevægelse under målingerne.

Selv om man således har indsamlet prøverne så korrekt som muligt, kan der alligevel ved laboratoriemålingerne vise sig en betydelig spredning og afvigelse i magnetiseringsretningerne. Dette kan endog være tilfældet for vulkanske bjergarter, der jo ellers burde være gode "permanente magneter". Grunden til dette er, at der i tilgift til den naturlige remanente magnetisme til stadighed tilføres bjergarterne ny remanent magnetisme fra det i stadig ændring værende jordmagnetfelt, - selv længe efter bjergartens dannelsesstidspunkt. Disse forstyrrelser, der til en vis grad er til stede i alle bjergarter, betegnes den viskose remanente magnetisme (VRM).

Da man først og fremmest er interesseret i den oprindelige naturlige remanente magnetisme, når man skal bestemme orienteringen af tidligere tiders jordmagnetfelt, prøver man på at fjerne disse sekundære virkninger, der stammer fra den viskose remanente magnetisme og andre mulige skyggevirksomheder.

Man udsætter derfor bjergarten for en omhyggelig magnetisk rengøring gennem påvirkning fra stadigt ændrede magnetfelter og opvarmninger. Figur 6 viser et sådant magnetisk rengøringsudstyr. Under rengøringen måler man med mellemrum den remanente magnetisme, der stadig ændrer retning og stadigt formindskes. Til sidst sker der ikke nogen retningsændringer, men kun en stadig formindskelse af den remanente magnetisme, og den målte retning er da det "fossile" jordmagnetiske felts retning.

Den magnetiske rengøring er kun mulig, hvis "skygge"magnetismens og den viskose remanente magnetismes styrke og "hårdhed" (den coercive kraft) er mindre end den oprindelige "fossile" magnetisering. En bjergart kan med andre ord blive så snavset, magnetisk set, at det er umuligt at rense den uden også at fjerne den remanente magnetisme, man er interesseret i at måle. Dette gælder især meget gamle bjergarter og stærkt omdannede bjergarter.

Sharma