

**KUML**

1965

# KUML

ÅRBOG FOR JYSK ARKÆOLOGISK SELSKAB

1965

*With Summaries in English*

JYSK ARKÆOLOGISK SELSKAB SATTE DETTE KUML FOR  
HOLGER FRIIS  
PÅ 75-ÅRS DAGEN DEN 15. OKTOBER 1966

---

UNIVERSITETSFORLAGET I ÅRHUS

1966

*Omslag:*

Øskenflaske fra Tovstrup, Hind hrd.

*Redaktion:*

OLE KLINDT-JENSEN OG POUL KJÆRUM

*Copyright 1966*

*by*

*Jysk Arkæologisk Selskab*

---

Printed in Denmark  
by  
Aarhus Stiftsbogtrykkerie A/S

## INDHOLD

<i>Bjørn Stürup</i> : En jordgrav fra tidlig-neolitisk tid .....	13
<i>Jørgen Jensen</i> : Ulbjerg-graven. Begyndelsen af den ældre jernalder i Jylland .....	23
<i>Søren H. Andersen</i> og <i>Claus Malmros</i> : Norslund. En kystboplads fra ældre stenalder .....	35
<i>Niels Abrahamsen</i> : Arkæomagnetisme og jernalderslagge .....	115
<i>Geoffrey Bibby</i> : Arabiens arkæologi .....	133
<i>Lennart Edelberg</i> : Nuristanske sølvpokaler .....	153
Jysk Arkæologisk Selskab .....	202

## CONTENTS

<i>Bjørn Stürup</i> : A New Earth-grave from the Early Neolithic Period .....	21
<i>Jørgen Jensen</i> : The Beginning of the Early Iron Age in Jutland .....	31
<i>Søren H. Andersen</i> and <i>Claus Malmros</i> : Norslund – A Coastal Settlement from the Old Stone Age .....	110
<i>Niels Abrahamsen</i> : Archaeo-magnetism and Iron-Age Slags .....	131
<i>Geoffrey Bibby</i> : Arabian Gulf Archeology .....	144
<i>Lennart Edelberg</i> : Silver Cups of Nuristan .....	193



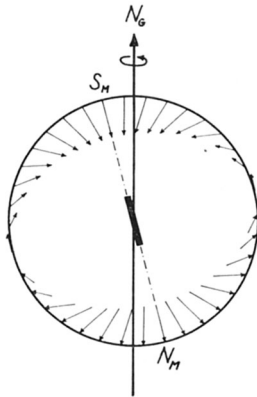


Fig. 1. Jorden roterende om sin akse med geografisk nordretning  $N_G$ ; jordens magnetfelt kan sammenlignes med magnetfeltet fra en dipol i centrum, som danner en vinkel på  $11^\circ$  med rotationsaksen. De små pile angiver jordmagnetfeltets størrelse og retning på jordoverfladen, idet kraftlinierne er udadrettede ved den magnetiske nordpol  $N_M$  og indadrettede ved den magnetiske sydpol  $S_M$  (de magnetiske poler ligger omvendt af de geografiske poler). En frit ophængt kompasnål vil stille sig ind parallelt med kraftliniernes retning på det pågældende sted.

## ARKÆOMAGNETISME OG JERNALDERSLAGGE

Af NIELS ABRAHAMSEN

### *Indledning*

I de senere år er man inden for arkæologien begyndt at operere med et nyt begreb *arkæometri*, der kort kan defineres som omfattende alle de på fysiske eller kemiske egenskaber baserede målemetoder, der kan bringes i anvendelse ved arkæologiske undersøgelser. De enkelte metoder er vidt forskellige, idet de udnytter forskellige specielle egenskaber; eksempelvis kan nævnes radioaktiv datering ved hjælp af C-14-metoden, kemisk og spektroskopisk analyse af metaller og keramik, termoluminescensdatering af keramik, elektriske modstands- og potentialmålinger til lokalisering af arkæologiske objekter, samt magnetiske undersøgelser dels til lokalisering og dels til datering af magnetiske objekter. En god oversigt kan findes i M. J. Aitkens bog »Physics and Archaeology«, mens det engelske tidsskrift »Archaeometry« bringer mange specialartikler om disse emner; en letlæselig, kort oversigt har H. W. Franke desuden givet i den til dansk oversatte bog »Fundene fortæller«.

Hensigten med de følgende sider er dels at give en kort oversigt over de arkæomagnetiske metoder og deres anvendelsesmuligheder og dels at bringe nogle resultater fra en arkæomagnetisk undersøgelse af jernalderbopladsen og slaggegruberne ved Drenghed i Sønderjylland (jfr. Voss, 1962).

## I. Magnetiske egenskaber

### a. Magnetiske stoffer

Alle stoffer har p. gr. a. deres atomare opbygning visse magnetiske egenskaber, som varierer stærkt fra stof til stof. Efter deres magnetiske egenskaber opdeles stofferne gerne i tre hovedgrupper, dia-, para- og ferromagnetiske, hvor stofferne i de to førstnævnte grupper i daglig tale går for at være umagnetiske, da de har meget lille susceptibilitet (modtagelighed) og ingen permanent magnetisering (jfr. det følgende); i arkæomagnetisk forbindelse er det derfor kun de ferromagnetiske stoffer, der har interesse.

De ferromagnetiske stoffer skiller sig ud fra de andre ved deres større susceptibilitet og permanente magnetisering, idet de er kemiske forbindelser, der indeholder varierende mængder af jern eller beslægtede stoffer. Jern i form af oxyder og hydroxyder (brunjernsten, okker, rust osv.) er meget udbredt i naturen, omend ofte kun i små koncentrationer, men selv om et sammensat stof kun indeholder relativt lidt jern i form af urenheder, vil det tit kunne give stoffet som helhed de ferromagnetiske egenskaber; dette gælder bl. a. de almindelige lerarter, som anvendes til brænding af keramik, mursten, tegl m. m., og det er ligeledes tilfældet med humusholdige jordarter, myremalm og jernslagge.

### b. Induceret magnetisering

Hvis et stof påvirkes af et ydre magnetfelt  $F$ , vil det blive magnetiseret, dvs. få induceret en vis magnetiseringsintensitet  $I$ , hvis størrelse er proportional med magnetfeltets styrke,  $I = k \cdot F$ ; proportionalitetsfaktoren  $k$  er en karakteristisk konstant for stoffet og betegnes som stoffets magnetiske susceptibilitet, idet den er udtryk for, hvor kraftigt stoffet bliver magnetiseret af det ydre magnetfelt. Susceptibiliteten er for dia- og paramagnetiske stoffer meget lille (omkring  $1/10^6$  el. magn. enheder), mens den for ferromagnetiske stoffer er væsentligt større (mellem ca  $1/10^3$  og 10). Fjernes det ydre magnetfelt (dvs.  $F=0$ ), forsvinder også den inducerede magnetisering, hvorved den adskiller sig fra den remanente magnetisering.

### c. Remanent magnetisering

Ferromagnetiske stoffer har foruden den større susceptibilitet yderligere den egenskab, at de kan være i besiddelse af en remanent (permanent, vedvarende) magnetisering  $I_r$ , som er uafhængig af det ydre magnetfelts størrelse og retning. Sådanne stoffer er det, der i daglig tale kaldes magnetiske, f. eks. en kompasnål, en hestekomagnet og alm. jern; det samme gælder om brændt ler, blot er både den inducerede og den remanente magnetisering svagere.

Den inducerede og den remanente magnetisering i et stof kan have forskellige retninger og disse vil således kunne forstærke eller svække hinanden, efter som de er parallelt eller modsat rettede. Ved arkæologiske materialer vil de normalt være omtrent parallelle og derfor forstærke hinanden.

Den remanente magnetisering kan opstå på forskellig vis. Hvis et ferromag-

netisk stof påvirkes af et magnetfelt og derved får en induceret magnetisering, kan det evt. bevare en del heraf, efter at det ydre magnetfelt er fjernet eller har ændret retning; denne magnetisering, der er dannet ved konstant temperatur, benævnes isotherm remanent magnetisering (IRM). Da jordens magnetfelt påvirker alle stoffer, vil de ferromagnetiske stoffers remanente magnetisering have en tendens til, selv om den oprindeligt har haft en afvigende retning, efterhånden at rette sig ind efter jordfeltets nuværende retning; denne type benævnes viskos remanent magnetisering (VRM), da den kan betragtes som en analogi til flydning i en højviskos væske. Begge de nævnte magnetiseringstyper er relativt ustabile eller »bløde«, dvs. at de lader sig forholdsvis let ændre ved magnetisk påvirkning ude fra. Ved kemisk-fysiske processer som krystallisation, kolloidal sedimentation, forvitring og lignende kan der desuden dannes såkaldt kemisk remanent magnetisering (CRM), der ofte er meget stabil eller »hård«.

Vigtigst i arkæologisk forbindelse er dog den termoremanente magnetisering (TRM), som opstår, når et ferromagnetisk stof (f. eks. keramik eller jernslagge) nedkøles forbi en for det pågældende stof karakteristisk temperatur, Curie-temperaturen  $T_c$ , mens det samtidigt påvirkes af et ydre magnetfelt (normalt jordens magnetfelt). Hvis et ferromagnetisk stof opvarmes til en temperatur over  $T_c$ , mister det sin remanente magnetisering, men ved afkøling vil det få en ny, kraftig og relativt stabil TRM, som er rettet parallelt med det ydre magnetfelt; man kan nærmest sige, at det ydre magnetfelts retning »fastfryses« i stoffet under afkølingen. Curie-temperaturen ligger for de fleste aktuelle stoffer på mellem 400 og 600° C, en temperatur der normalt overskrides ved forbrændingsprocesser.

Er det ikke nærmere specificeret, hvordan et stof er blevet magnetiseret, taler man om dets naturlige remanente magnetisering (NRM), som omfatter alle de nævnte former for remanent magnetisering plus nogle flere.

Da en af det nutidige jordmagnetfelt fremkaldt VRM kan virke forstyrrende ind på retningen af den oprindelige TRM i prøven, som er den, der normalt ønskes bestemt, kan man i laboratoriet evt. lade prøven blive underkastet en delvis afmagnetisering, en såkaldt »magnetisk rensning«, hvorved de »bløde« magnetiske komponenter fjernes, mens de mere stabile bliver bevaret i det væsentlige uændrede. Afmagnetiseringen kan foretages enten ved hjælp af et kraftigt magnetisk vekselfelt eller ved at prøven opvarmes til lidt under  $T_c$  og dernæst afkøles i et magnetisk feltfrit rum, så der ikke dannes nogen ny TRM. Ved disse rensningsmetoder fås desuden oplysninger om, hvorvidt den remanente magnetisering er stabil eller ej, og dermed i hvor høj grad måleresultaterne er pålidelige.

#### d. Jordens magnetfelt

At en kompasnål stiller sig ind i magnetisk nord-syd-retning er et velkendt fænomen, som beviser, at jorden er omgivet af et magnetfelt. Jordmagnetfeltets retning ændrer sig fra sted til sted, jfr. fig. 1; det er vandret ved ækvator og lodret ved de magnetiske poler, mens det på vore breddegrader danner en vinkel på ca. 70° med det vandrette plan. På fig. 2 er vist, hvordan magnetfeltets ret-

ning kan angives ved de to vinkler  $D$  og  $I$ , hvor deklinationen  $D$  (også kaldet misvisningen) er vinklen mellem geografisk nord og den magnetiske horisontalkomponent, regnet positiv fra nord mod øst, og inklinationen  $I$  er vinklen mellem horisontalplanet og magnetfeltet  $F$ , regnet positiv nedad på den nordlige halvkugle.

Ved magnetiske målinger rundt omkring på jorden er det blevet påvist, at jordmagnetfeltet med en vis tilnærmelse kan ækvivaleres med det magnetfelt, man ville få, hvis en kraftig ideal magnet, en dipol, lå inde midt i jorden med akse dannende en vinkel på ca.  $11^\circ$  med jordens rotationsakse, jfr. fig. 1. Det er dog kun en tilnærmet model, for dels ligger jordens magnetiske poler ikke nøjagtigt modsat hinanden, og dels ændres beliggenheden såvel som feltstyrken i tidens løb, hvilket viser sig ved, at feltstyrke, deklination og inklination på et sted langsomt ændrer sig, den såkaldte sekulære variation; i Danmark ændres  $D$  i nutiden ca.  $1^\circ$  i østlig retning i løbet af 15 år, mens feltstyrken tiltager med ca. 1 promille årligt.

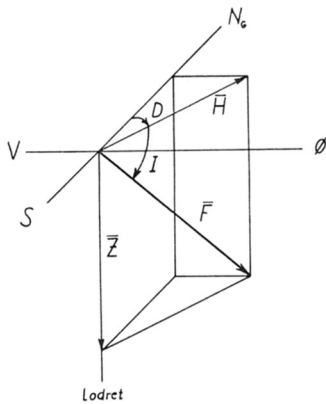


Fig. 2. Jordmagnetfeltstyrken  $F$  kan opløses i en lodret og vandret komponent  $Z$  og  $H$ . Vinklen mellem  $H$  og geografisk nord  $N_G$  er den magnetiske deklination  $D$  (eller misvisning), regnet positiv fra nord mod øst. Vinklen mellem  $H$  og  $F$  er magnetfeltets inklination  $I$ , regnet positiv nedad på den nordlige halvkugle.

## II. Magnetisk datering

### a. Jordmagnetfeltets variation

To forskellige metoder kan anvendes til magnetisk aldersbestemmelse, idet der enten benyttes prøvens remanente magnetiseringsintensitet eller magnetiseringsretning.

Den første metode (intensitetsmetoden) bygger på, at den magnetiseringsintensitet en brændt lergenstand opnår under brændingen afhænger af den ydre feltstyrke. Metoden består da i at den nuværende remanente magnetiseringsintensitet i prøven måles, (idet det forudsættes, at denne er identisk med den oprindelige under brændingen dannede magnetiseringsintensitet), dernæst afmagnetiseres prøven ved at den opvarmes til Curietemperaturen, og under påvirkning af et kendt magnetfelt afkøles den igen, så der dannes en ny remanent magnetisering, hvis størrelse måles. Ved at gentage denne procedure nogle gange med forskellige størrelser af det kendte magnetfelt, findes sammenhængen

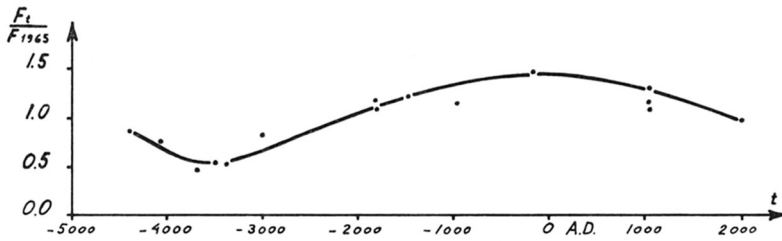


Fig. 3. Ændring af jordmagnetfeltets styrke  $F_t$  gennem de sidste ca. 6000 år; (efter Bucha, 1965).

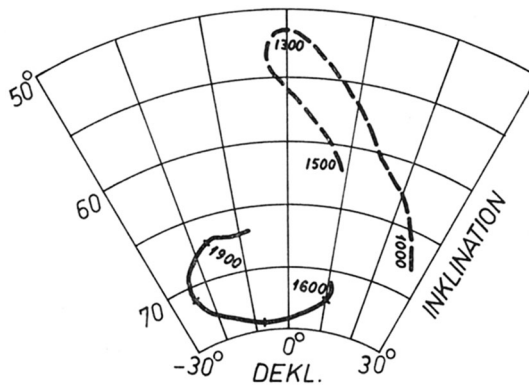


Fig. 4. Jordmagnetfeltets sekulære variation gennem de sidste 1000 år. Den fuldt optrukne kurve repræsenterer den i London direkte målte retning fra efter 1600, mens den stiplede kurve er konstrueret ud fra målinger af den remanente magnetiseringsretning på brændt ler fra ovne og lign., som har kunnet dateres tilstrækkeligt nøjagtigt; (efter Aitken, 1964).

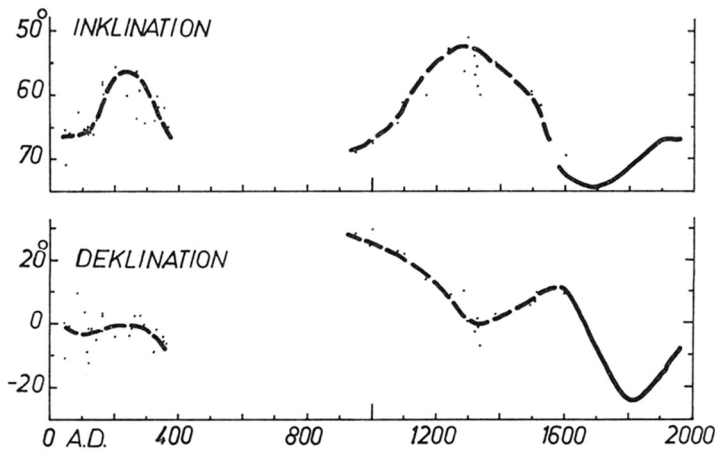


Fig. 5. Inklination og deklination af jordmagnetfeltets sekulære variation i London mellem år 0 og 400 og efter år 900, signatur svarende til figur 4; især den ældste del af kurverne er behæftet med betydelig usikkerhed som antydet gennem punkternes spredning; (efter Aitken, 1964).



mellem det magnetiserende magnetfelt og den i prøven dannede remanente magnetisering, og af den oprindelige (først målte) magnetiserings størrelse kan man dernæst slutte sig til størrelsen af magnetfeltet på det tidspunkt, da brændingen fandt sted. Er variationen af jordmagnetfeltstyrken kendt tilbage i tiden (fundet ved, at ovenstående fremgangsmåde er benyttet på materiale af kendt alder, jfr. fig. 3 efter Bucha, 1965), kan alderen af den undersøgte prøve derfor bestemmes ved sammenligning af de to sæt feltstyrkeværdier.

Intensitetsmetoden har fremfor den følgende den fordel, at ændringen i jordens feltstyrke er ret langperiodisk (en periode på ca. 6-7000 år), idet kurven for feltstyrke viser et minimum omkring år  $-3500$  på ca. 0.5 og et maksimum omkring år nul på ca. 1.5 af den nutidige feltstyrke, hvorfor flere tusind år gamle oldsager formodentlig bedre vil kunne dateres ved hjælp af intensitetsmålinger end ved retningsbestemmelser, da retningsændringerne har noget kortere perioder (ca. 300 - 600 år); derimod er nøjagtigheden næppe så stor som ved den følgende metode (retningsmetoden), der i øjeblikket må anses for den mest lovende ved datering af nyere materiale.

Jordmagnetfeltets retningsændring med tiden (den sekulære variation) kan på tilsvarende måde benyttes til magnetisk aldersbestemmelse, hvis det kan bestemmes, hvordan retningen har varieret i tidligere tider, idet man da kan sammenligne den målte remanente magnetiseringsretning af oldsager af ukendt alder med de kendte kurver for den sekulære variation.

To vanskeligheder må overvindes ved anvendelse af metoden: Først må jordmagnetfeltets sekulære variation fastlægges tilbage i tiden med tilstrækkelig stor nøjagtighed, og dernæst må de nye målinger af den remanente magnetisering kunne udføres med tilsvarende nøjagtighed.

Betydelige resultater er allerede fremkommet bl. a. ved E. Thellier's arbejder i Paris og M. J. Aitken's arbejder i Oxford, hvoraf sidstnævntes resultater er vist på fig. 4 og 5. Fra tiden efter ca. år 1600 har man direkte målinger af magnetfeltets retning i London, således at denne del af kurverne for I og D er fastlagt med god nøjagtighed. Før 1600-tallet haves ingen direkte observationer, hvorfor Aitken har forsøgt at rekonstruere kurveforløbet ved at bestemme den remanente magnetiseringsretning af et stort antal pottemagerovne m. m., som har kunnet dateres rimeligt nøjagtigt på anden vis. Retningerne viser en del spredning omkring de tegnede gennemsnitskurver, lige som der endnu mangler et interval mellem år 400 og år 900 efter Kr. samt tiden før år nul.

Selv om der må forventes at være en betydelig lighed mellem den sekulære variation i forskellige geografiske områder, kan de engelske variationskurver næppe anvendes uden modifikationer på materiale fra Danmark, hvis metodens nøjagtighed skal udnyttes fuldt ud, men de kan være til god hjælp og kontrol, når man fremover vil forsøge at konstruere variationskurverne på grundlag af på anden måde datérbart materiale fra Danmark og nærmeste omkringliggende områder.

#### *b. Magnetisk datérbare materialer*

Målingerne af den remanente magnetiseringsretning udføres i laboratoriet på indsamlede prøver, hvis oprindelige orientering må være afmærket omhyggeligt

på dem, mens de endnu befandt sig i dén stilling, de må antages at have indtaget under brændingen. Dette krav sætter en klar grænse for, hvilke objekter, der kan anvendes ved denne form for magnetisk datering: Til bestemmelse af begge vinklerne D og I kan kun benyttes brændte genstande, der har stået uforstyrret fast lige siden brændingen, bl. a. brændte lergulve og vægge fra pottemagerovne og ildsteder, uforstyrrede slaggegruber fra jernudsmeltning o. lign. Til bestemmelse af I alene kan desuden benyttes de fleste former for keramik og mursten m. m., idet det ofte med god sikkerhed kan afgøres, hvordan genstanden har stået i forhold til det horisontale plan under brændingen (keramik står enten på foden eller hovedet, mursten står normalt på den ene af de lange flader); derimod kan deklinationen ikke bestemmes ud fra dette materiale, da orienteringen i det vandrette plan normalt ikke kendes.

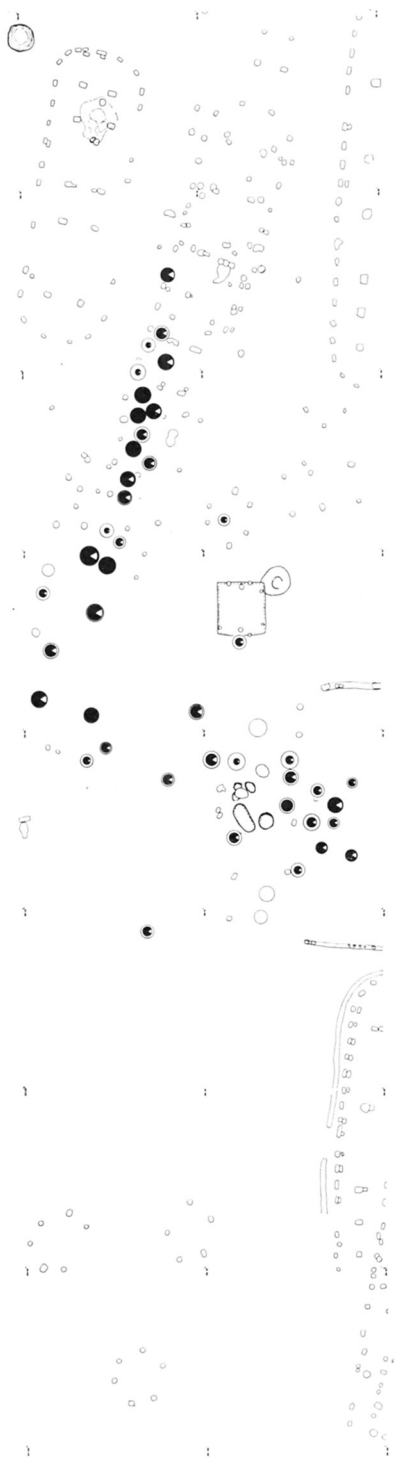
For intensitetsmetodens vedkommende kan i princippet enhver genstand benyttes, som er termoremanent magnetiseret, og som ikke har været opvarmet siden brændingstidspunktet.

### *c. Dateringsnøjagtigheden*

De bedste arkæomagnetiske aldersbestemmelser må forventes på materiale, hvor både D og I kan bestemmes, idet man derved får en vis gensidig kontrol på målingerne. Afgørende for nøjagtigheden er dels fastlæggelsen af den sekulære variation, som indbefatter både usikkerheden i bestemmelsen af den re-manente magnetiseringsretning og usikkerheden i den absolutte datering af det anvendte materiale, og dels usikkerheden ved målingerne på det materiale, der skal dateres; endelig er det afgørende, hvor kraftig den sekulære variation er på det pågældende tidspunkt, idet en større nøjagtighed i aldersbestemmelsen kan opnås, jo hurtigere variationen er, dvs. desto stejlere kuverne på fig. 5 er.

I praksis viser der sig at være en del spredning i målingerne på flere objekter fra samme tid og sted, hvilket antageligt skyldes, at magnetiseringen ikke er helt homogen i prøverne; for at reducere denne fejlkilde benyttes normalt gennemsnittet fra omkring en halv snes prøver fra samme lokalitet.

Er variationskurverne fastlagt med tilstrækkelig stor nøjagtighed, vil der i fremtiden i de gunstigste tilfælde antageligt kunne opnås en nøjagtighed i den magnetiske aldersbestemmelse på  $\pm 10$  år for nyere materiale (fra efter ca. år 1600), mens der for ældre materiale og i mindre gunstige tilfælde antageligt vil kunne opnås en nøjagtighed på  $\pm 20$  til  $\pm 50$  år i aldersbestemmelsen. Til sammenligning kan nævnes, at usikkerheden på en aldersbestemmelse ved hjælp af kulstof-14 metoden normalt er  $\pm 100$  år, hvilket næppe kan reduceres p. gr. a. de ubestemte variationer i atmosfærens kuldioxid-balance i fortiden. Dette lader formode, at de arkæomagnetiske aldersbestemmelser vil kunne udvikles til fremover at blive anvendelige ved arkæologiske dateringsproblemer på lige fod med C-14 og termoluminescensmetoden.



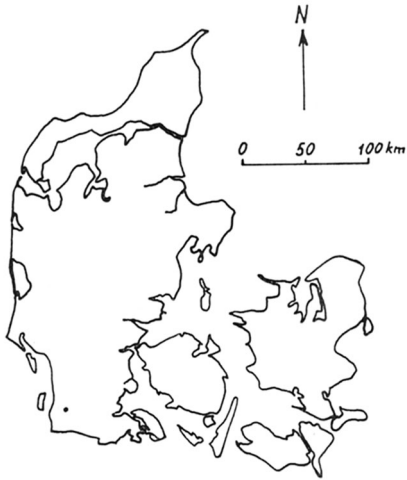


Fig. 6. Drengheds beliggenhed i det sydvestlige Sønderjylland,  $8^{\circ}.8$  øst f. Grw.,  $55^{\circ}.1$  nordlig bredde. Området er en typisk hedeslette, hvor der hyppigt findes myremalm, som i forbindelse med trækulsvidning har dannet grundlaget for jernudsmeltningen i forhistorisk tid.

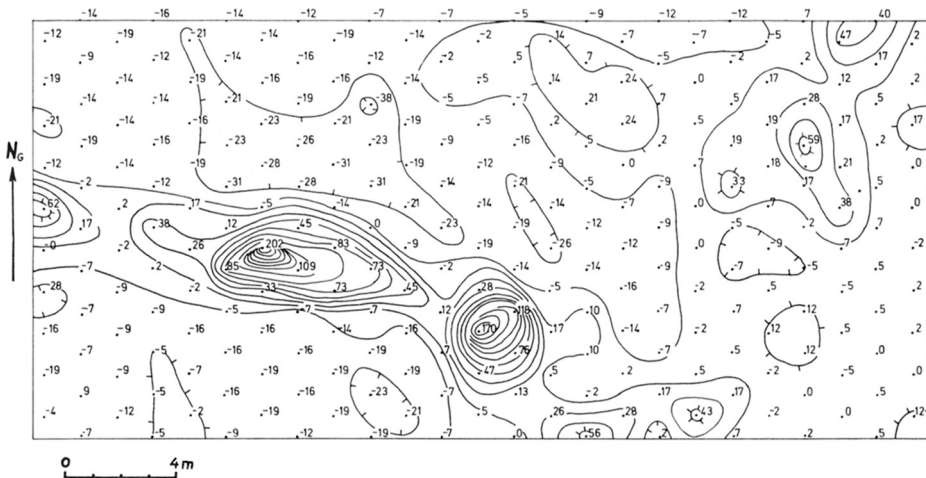


Fig. 8. Kontrolmåling af et mindre område, som på figur 7 er vist med stiplede linie. Målepunkterne ligger i trekantnet med en afstand på 1.5 m. Det magnetiske kurvebillede er i det væsentlige det samme på de to figurer, idet de mindre afvigelser væsentligst skyldes målepunkternes lidt forskellige beliggenhed.

Fig. 7. Kort over den magnetiske vertikale intensitet i det undersøgte område på  $40 \times 80$  m<sup>2</sup> ved Drengheds i Sønderjylland (rødt) med resultaterne fra den arkæologiske udgravning af den nordlige halvdel (sort). Afstanden mellem de magnetiske målepunkter er 2 m, mens de røde tal angiver den magnetiske anomali i gamma; afstanden mellem kurverne er 15 gamma.

Ved udgravningen fandtes stolpehuller og aftryk af flere huse, en udfyldt brønd HQ, nogle lerkar samt 47 slaggegruber, hvoraf 19 var uforstyrrede (massiv sort cirkel), mens resten var brudt op (sort vinkel med udskåret trekant); grubernes vægt er angivet ved arealet af den sorte cirkel, som for den største vedkommende svarer til 445 kg.

De positive magnetiske anomalier, der skyldes slaggegrubernes jernindhold, er omtrent proportionale med vægten af de slaggegruber, der ligger inden for en radius af ca. 1 m fra målepunktet. Over brønden er der et 20 gamma stort maksimum, som forårsages af det mere humusholdige udfyldningsmateriale i brønden, sammenlignet med omgivelsernes.

### III. Magnetisk lokalisering

#### a. Metode

Et materiale vil som nævnt p. gr. a. dets susceptibilitet få induceret en magnetisering fra jordmagnetfeltet, hvorved det bliver omgivet af en lokal magnetisk anomali, der afhænger af størrelsen af objektet, dets susceptibilitet og dets eventuelle remanente magnetisering. Ligger objektet skjult tæt under jordoverfladen indlejret i et materiale med andre magnetiske egenskaber, vil denne magnetiske anomali kunne påvises ved magnetiske målinger på jordoverfladen og derved afsløre beliggenheden. Ved passende betingelser kan man næsten sige, at den gamle drøm om at finde det skjulte med en »ønskekvist« er gået i opfyldelse, forudsat at objektet er tilstrækkeligt magnetisk, og at der som »ønskekvist« benyttes et moderne magnetometer.

Ved sådanne magnetiske lokaliseringsmålinger er det almindeligt at gennemmåle det udvalgte område i et kvadratisk net af målepunkter, hvor afstanden mellem dem er så lille, at man er sikker på at få et tydeligt udslag på magnetometeret, også selv om det søgte objekt ligger midt imellem målepunkterne. På den anden side må punkterne heller ikke ligge for tæt, idet den anvendte tid ved gennemmålingen af et bestemt areal da bliver uforholdsmæssig stor. Punktafstanden indrettes desuden efter, hvor store de magnetiske anomalier forventes at være set i forbindelse med det anvendte magnetometers målenøjagtighed samt efter om der evt. optræder forstyrrende magnetiske anomalier fra de omkringliggende jordlag, vandør, el-ledninger, bygninger, redskaber osv. For med sikkerhed at kunne erkende en anomali kræves det normalt, at anomalien er mindst tre gange så stor som den statistiske spredning på målingerne.

#### b. Instrumenter

Afhængigt af de forhåndenværende måleinstrumenter, kan man anvende i det væsentlige tre forskellige målemetoder. Visse instrumenter måler feltstyrken af det totale magnetfelt, dvs. summen af jordmagnetfeltet og den magnetiske anomali, hvor jordfeltets styrke er ca. 50.000 gamma (1 gamma =  $10^{-5}$  Ørsted), mens de arkæologiske anomalier normalt ligger på mellem 1 og 100 gamma. Blandt disse instrumenter har især det kun få år gamle protonmagnetometer vist sig anvendeligt, idet måleusikkerheden ligger på mellem 1/2 og 2 gamma, mens en måling kun tager nogle få sekunder; det samme gælder om det helt nye rubidiummagnetometer, hvis måleusikkerhed tilmed kan nå helt ned på ca. 0.002 gamma. En anden instrumenttype måler kun forskellen i feltstyrke mellem målepunkterne og normalt kun i en bestemt retning, som det er tilfældet med det almindelige vertikalintensitetsmagnetometer; en måling hermed tager omkring et minut, da instrumentet skal stilles nøjagtigt vandret, og måleusikkerheden ligger mellem 2 og 10 gamma, hvilket gør det mindre velegnet til tæt opmåling af større arealer eller til påvisning af de helt små arkæomagnetiske anomalier. Den tredje metode består i at udføre differens- eller gradientmålinger, idet to målesonder måler magnetfeltstyrken samtidig på to forskellige steder; målenøjagtighed og -hastighed svarer til de førstnævnte instrumenters, idet det er tilsvarende instrumenttyper, der benyttes ved gradientmålingerne. Sær-



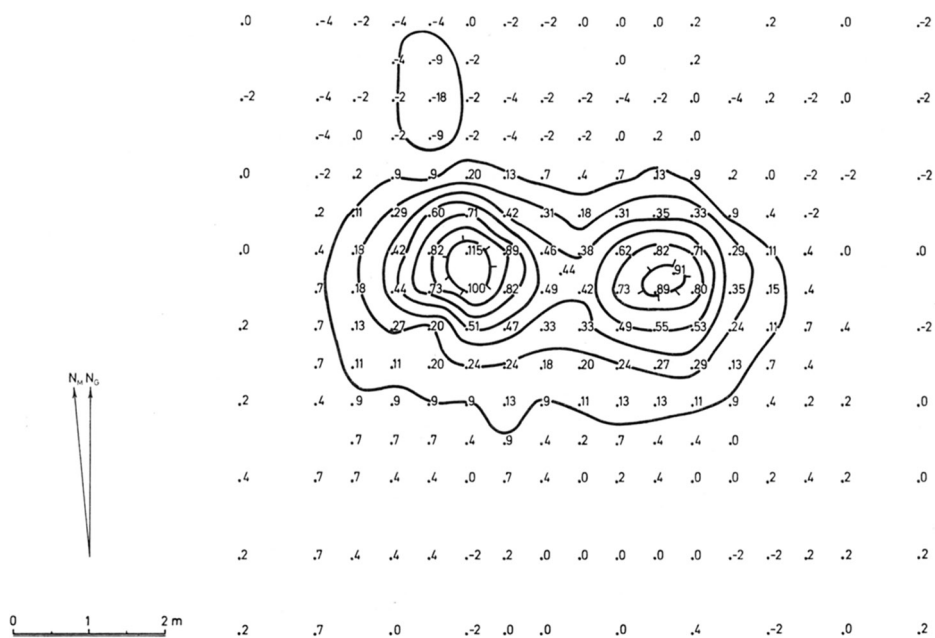


Fig. 9. Detailmagnetiske målinger over det sydligste, pæreformede maksimum på figur 7. Ved detailopmålingen opløstes anomalien i to separate, hinanden overlappende maksima, fremkaldt af hver sin slaggegrube.

lige fordele ved disse er ydermere, at uønskede magnetiske forstyrrelser fra atmosfæren (der er normalt på magnetisk rolige dage en daglig variation på 20-50 gamma, på urolige dage langt mere, såkaldt »magnetisk storm«), ledninger og trafik m. m. ikke indvirker på feltstyrkedifferenserne over de små afstande, der her er tale om, så man er fritaget for at foretage ellers nødvendige kontrolmålinger og korrektionsberegninger.

#### IV. Arkæomagnetiske undersøgelser på jernalderbopladsen ved Dregsted

På markerne nær Dregsted ved landevejen mellem Skærbæk og Brede i Sønderjylland (fig. 6) kan man finde løse slaggeblokke, som ved nærmere undersøgelse (Voss, 1962) viser sig at stamme fra skjulte slaggegruber fra jernudsmeltning i romersk jernalder. Seks slaggegruber er blevet dateret ved hjælp af C-14-metoden på forkullet halm eller trækul, hvorved to gav en alder på år  $210 \pm 100$  efter Kr., mens resten lå mellem år 320 og år 410 med et gennemsnit på år  $365 \pm 50$  (Voss, personlig meddelelse); nogle lerkar fundet i forbindelse med slaggegruberne stammer fra det 5. årh. efter Kr. Samme steds blev der fundet stolpehuller og oldsager fra en jernalderbebyggelse, ligeledes dateret til det 5. årh., således at det i øjeblikket er uklart, hvorvidt jernudsmeltningen og bopladsen er fra samme tid eller ej.

Da slaggegruberne er stærkt magnetiske, blev det besluttet i de videregående undersøgelser også at inddrage de arkæomagnetiske metoder, hvorfor et sam-

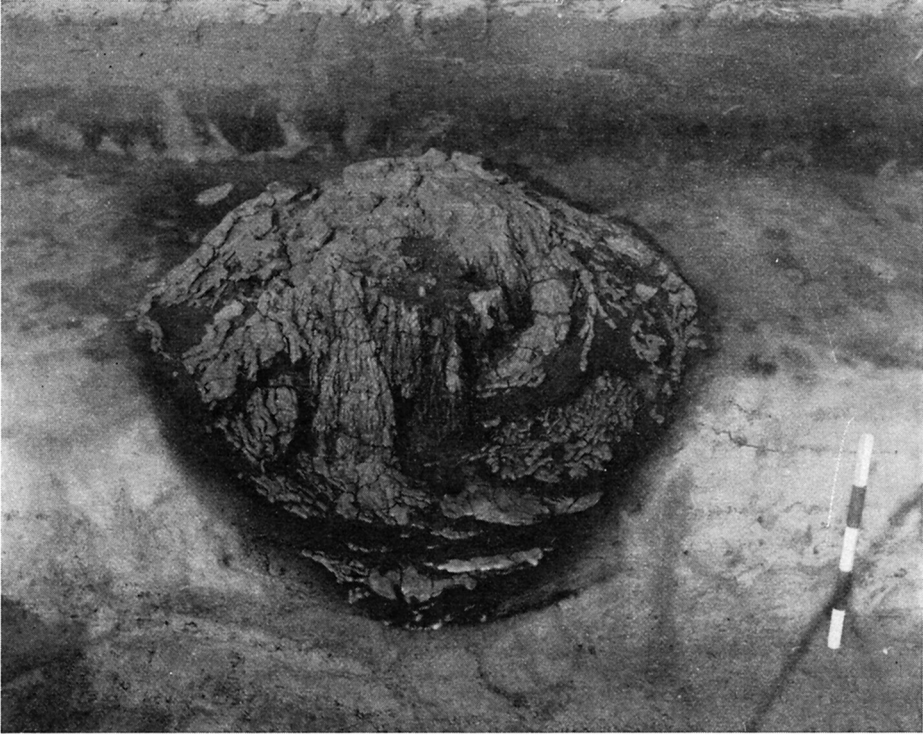


Fig. 10 a. Eksempel på en kugleformet, regelmæssig slaggegrube (BV, efter Voss, 1962).

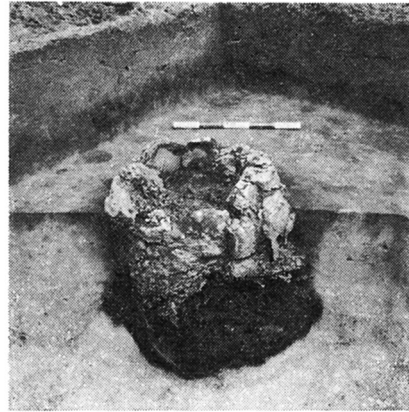
arbejde blev indledt mellem Forhistorisk Arkæologisk Institut og Geologisk Institut ved Aarhus Universitet, idet de magnetiske metoder er almindeligt anvendt inden for geologi og geofysik.

#### a. Magnetisk lokalisering

Et markområde på  $40 \times 80$  m<sup>2</sup> blev udvalgt i nærheden af de tidligere udgravede områder, hvor der fandtes en del slagger revet med op under pløjning. Området, som det var hensigten senere at udgrave, blev dernæst gennemmålt med et Askania-Gfz-vertikalintensitetsmagnetometer, mens det endnu var uforstyrret. I praksis blev målingerne foretaget langs med en 20 m lang snor med knude for hvert målepunkt udspændt mellem to rækker træpløkke, idet snoren blev flyttet til det næste par pløkke ved hvert nyt profil; efter hvert profil blev et basispunkt desuden gennemmålt af hensyn til kontrollen med den magnetiske daglige variation og målingerne korrigeret herfor. Hele området blev gennemmålt med et kvadratisk målenet med 2 m mellem målepunkterne, mens et lille delområde blev gennemmålt i et net af ligesidede trekanter med sidelængden 1.5 m dels for at få en kontrol på målingerne, og dels i forsøget på at finde frem til den mest økonomiske kombination af måleafstand og anvendt måletid.

Resultaterne af opmålingerne er vist på fig. 7 og 8, hvor de tegnede kurver

Fig. 10 b. Meget regelmæssig, cylinderformet slaggegrube, som fremkaldte den østlige af de to magnetiske anomalier på figur 9; målestokken en halv meter lang.



angiver de magnetiske maksima og minima på samme måde, som højdekurverne på et topografisk kort angiver terrænhøjderne. Middelfejlen på de enkelte målinger er  $\pm 4$  gamma, og afstanden mellem kurverne er 15 gamma. Kurverne bliver lidt mere detaljerede med det tættere trekantnet på fig. 8, men opmålingen tager til gengæld ca. dobbelt så lang tid som med det grovere, kvadratiske 2-meter-net, der blev målt af to mand i løbet af 12 arbejdstimer.

Efter at de magnetiske målinger var udført, blev den nordlige halvdel af området udgravet (fig. 7) og afslørede dels 47 slaggegruber på op til 445 kg, hvoraf 19 var uforstyrrede, mens resten var brudt op, og dels stolpehuller fra flere huse, en udfyldt brønd, nogle lerkar m. m. Det fremgår af figuren, at der er meget god overensstemmelse mellem de positive magnetiske anomalier (angivet ved små tværstreger, der peger væk fra midten) og slaggegrubernes beliggenhed, idet enkeltliggende slaggegruber giver maksima på mellem 15 og 60 gamma, afhængigt af slaggegrubens vægt og målepunktets beliggenhed i forhold til gruben, mens flere tætliggende slaggegruber kan give anomalier på 150 til 200 gamma. De negative kurver i det nordvestligste hjørne skyldes ikke de arkæologiske forhold men et redskabshus beliggende ca. 30 m fra korthjørnet, lige som de svagt tiltagende negative værdier fra øst mod vest antageligt skyldes en nærliggende gård ca. 50 m vest for kortkanten; i begge tilfælde er disse forstyrrende magnetfelter dog så regelmæssige, at de ikke tilslører de arkæologiske anomalier.

Et særligt interessant træk ud over anomalierne fra slaggegruberne er et 20 gamma stort maksimum over den udfyldte brønd ved hjørnet af det kvadratiske hus (fig. 7); dette maksimum kan forklares ved, at det materiale, der nu udfylder brønden, er mere humusholdigt og dermed har større susceptibilitet end det omgivende smeltevandssand og -grus, der er ret homogent og væsentligt består af kvartskorn, som har meget lav susceptibilitet. Fænomenet, der også er påvist andre steder (Schulze o. a. 1960), viser, at det skulle være muligt magnetisk at opdage og følge forløbet af f. eks. opfyldte grave o. lign. over længere strækninger uden at behøve at grave dem ud.

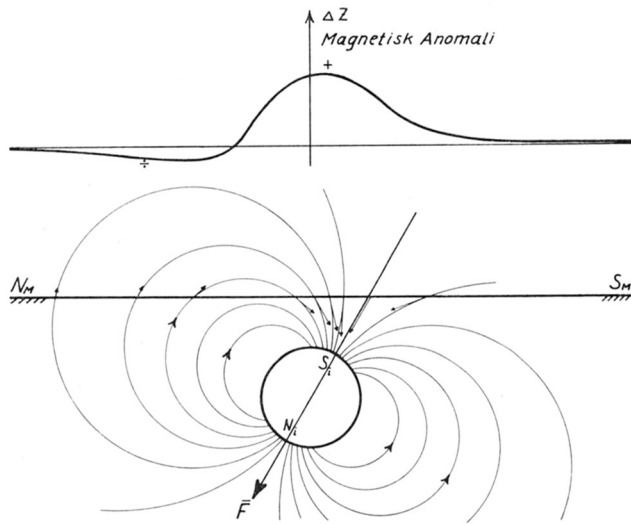


Fig. 11. Vertikalsnit gennem den magnetiske anomali over en homogent magnetiseret kugle. Næderst: Jordmagnetfeltet  $F$  inducerer de magnetiske poler  $N_i$  og  $S_i$  i kuglen, som de magnetiske kraftlinier udgår fra og samles i. Den magnetiske anomali langs jordoverfladen er angivet af de små pile, hvis lodrette komponent svarer til kurven ovenover: Den magnetiske anomali  $\Delta Z$  (ændringen i den magnetiske vertikalintensitet), som den kan måles langs jordoverfladen. Anomalikurven viser et kraftigt maksimum (+) omtrent over kuglens centrum og et svagere minimum (-) nord herfor.

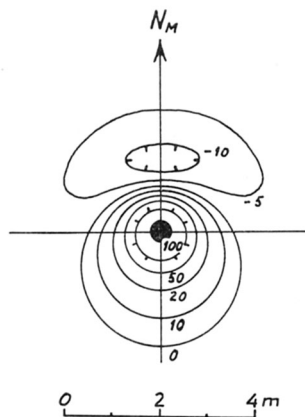


Fig. 12. Den magnetiske anomali i figur 11 set fra oven. Tallene på kurverne angiver den magnetiske anomali i gamma.

I det udgravede område er der ingen hele slaggegruber uden for de magnetiske anomalier, hvilket viser, at den valgte måleafstand på 2 m mellem målepunkterne i dette tilfælde er tilstrækkeligt til påvisning af en slaggegrube i området. Derimod fortæller de magnetiske målinger ikke noget om stolpehullerne eller de fundne oldsagers beliggenhed, idet de er for små til at påvirke magnetometeret erkendbart, da dette under målingen står på en trefod hævet ca. en meter over jorden.

I den sydlige halvdel af området ligger der kun nogle isolerede, mindre anomalier, hvoraf de positive antages hver især at skyldes en eller nogle få slaggegruber. For at undersøge en sådan isoleret magnetisk anomali nærmere, blev der foretaget detailmålinger over den sydligste af disse med et målenet på 1/2 m mellem punkterne, hvorved anomalien opløste sig i to tætliggende maksima på omkring 100 gamma hver, som delvist overlapper hinanden (fig. 9). Bagefter blev slaggegruben under det østlige maksimum udgravet, og den viste sig at være af usædvanlig regelmæssig og velbevaret form (fig. 10 b), hvorfor den med god tilnærmelse giver samme magnetiske anomali som den, der teoretisk findes over en homogent magnetiseret kugle (eller kort, lodret cylinder) som vist på fig. 11 og 12. Af særlige træk bemærkes det, at anomaliens top skal falde forskudt en smule syd for legemets centrum, mens der på nordsiden (i magnetisk nordretning) ligger et svagt negativt område; begge disse træk, som skyldes at jordmagnetfelt  $F$  ikke er lodret (anomalien ville da have været punktsymmetrisk), men har en inklinations på  $69^\circ$ , genfindes ved de kraftige anomalier i den nordlige halvdel af området.

På fig. 13 er gengivet rekonstruktionen af et jernudvindingsanlæg, hvoraf den overjordiske skakt af ler normalt kun er bevaret som brudstykker, mens den underjordiske del med slaggegruben ofte er ganske velbevaret, når gruben er uopbrudt (jfr. fig. 10 a og 10 b).

#### b. *Remanent magnetisering*

For at bestemme den remanente magnetiseringsretning som et første skridt på vejen til fastlæggelse af den sekulære variation i fortiden og dermed mulighed for fremtidige magnetiske aldersbestemmelser, blev der under udgravningen indsamlet orienterede slaggeprøver fra tre forskellige uforstyrrede slaggegruber i området. Fra den ene af disse slaggegruber (MF, fig. 14) med en C-14 alder på  $320 \pm 100$  år blev 5 af de formodet bedst orienterede prøver udvalgt til nærmere undersøgelse. Af hver prøve blev med diamantbor udboret tre borekærner med højde og diameter på 2.5 cm, og ved hjælp af et astatisk magnetometer blev den remanente magnetiseringsretning målt for disse 15 borekærner. For at fjerne en evt. efter brændingstidspunktet dannet viskos remanent magnetisering, blev kærneprøverne afmagnetiseret i et vekselmagnetfelt trinvis fra 0 til 680 Ørsted, idet målingen af den remanente magnetiseringsretning blev gentaget efter hvert trin. Den bedste overensstemmelse mellem retningerne for alle prøverne fandtes da ved en afmagnetiseringsfeltstyrke på 170 Ørsted, hvorfor denne retning antages at repræsentere den oprindelige, stabile termoremanente magnetiseringsretning.



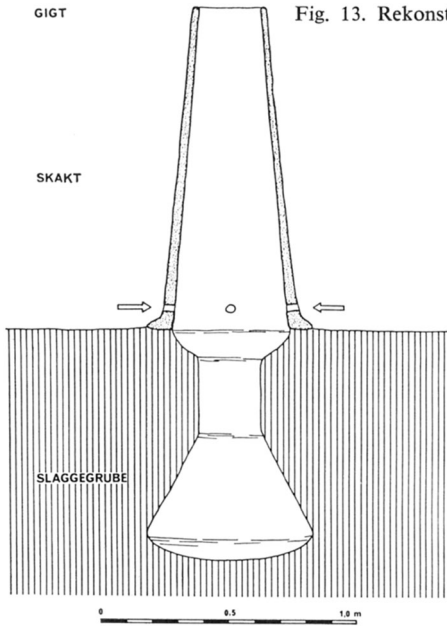


Fig. 13. Rekonstruktion af jernudvindingsanlæg (efter Voss, 1962).

Som middelværdi for denne remanente magnetiseringsretning fandtes  $D = 19^\circ$  og  $I = 70^\circ.7$ , mens 80 % konfidenscirkelns radius er  $3^\circ$  (dvs. at sandsynligheden er 80 % for at forskellen mellem den målte og den sande middelværdi er mindre end  $3^\circ$ ; jfr. Irving, 1964). Til sammenligning kan nævnes, at i nutiden er  $D = 3^\circ.5$  og  $I = 69^\circ.5$  i området.

Den fundne middelværdi kan ikke direkte benyttes til magnetisk aldersbestemmelse, da man ikke kender den sekulære variation for Danmark endnu, men kurverne fra London kan evt. benyttes til en grov sammenligning. Længde- og breddeforskellen mellem London og Drengsted er hhv.  $9^\circ$  og  $4^\circ.5$ , mens afstanden er 740 km eller  $6^\circ.5$ ; for at gøre de fundne middelværdier sammenlignelige

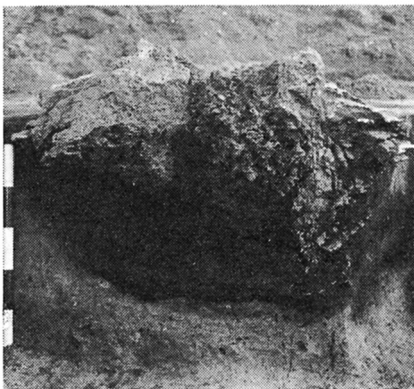


Fig. 14. Slaggegrube MF, hvorfra de orienterede prøver til magnetisk datering er udtaget.

med kurverne i fig. 5 må I formindskes med ca. 2/3 af forskellen i magnetisk bredde dvs. mellem  $2^\circ$  og  $5^\circ$ , mens D skal mindskes noget mere (et sted mellem  $5^\circ$  og  $10^\circ$ ). Herved bliver  $I = 66^\circ$ – $69^\circ$  og kan indpasses på fig. 4 omkring år 100 eller år 400 A. D., mens D falder helt uden for den i forvejen ret usikkert bestemte kurve.

Nogen pålidelig arkæomagnetisk datering er der således ikke tale om endnu, men ved hjælp af C-14-dateringen kan den ældste mulighed udelukkes som værende mindre sandsynlig, mens den anden på omkring år 400 efter Kr. ligger mellem C-14-alderen ( $320 \pm 100$ ) og alderen på de fundne lerkar (5. årh.), således at man får en gensidig kontrol på de tre forskellige metoder.

### *Konklusion*

De hidtil udførte arkæomagnetiske undersøgelser ved Drengsted viser, at såvel magnetiske lokaliseringmålinger som magnetiske aldersbestemmelser vil kunne være til nytte ved de arkæologiske udgravninger og undersøgelser i Danmark. Lokaliseringmålinger kan især være til en hjælp i »akutte« situationer, hvor et større område ønskes gennemført inden for et begrænset tidsrum (bl. a. ved ny-anlægning af veje og bygninger ødelægges mange delvist ukendte oldtidsminder), men hvor det kun vil være overkommeligt at udgrave et lille og helst centralt delområde tilstrækkeligt hurtigt. De magnetiske aldersbestemmelser, som endnu træder deres børnesko, vil ligeledes kunne blive et godt værktøj til »absolut« aldersbestemmelse, når den magnetiske sekulærvariation i Danmark efterhånden bliver tilstrækkeligt godt bestemt tilbage i tiden.

### *Archaeo-Magnetism and Iron-Age Slags*

In the first three sections a short review is given of magnetic concepts and their use in archaeomagnetic dating and finding, while in the last section an example on their application is given: Slag pits from prehistoric iron-smelting have earlier (Voss, 1962) been excavated at Drengsted in Southwestern Jutland (fig. 6) and some of them C-14-dated on carbonized straw or charcoal to the age of  $210 \pm 100$  A.D. or to the interval between 320 and 410 A.D. while potsherds and a settlement at the same place indicated an age of the 5th century A.D. Hence it is for the moment doubtful whether the settlement and the iron-smelting are of the same age or not. Planning new excavations in the same area it was then decided, as the slag pits are strongly magnetic to make arealmagnetic measurements as well as paleomagnetic determinations; none of these methods have formerly been applied in Danish archaeological work, wherefore collaboration between Forhistorisk Arkæologisk Institut and Geologisk Institut at the University of Aarhus was started.

The instrument available at the moment was an Askania-Gfz-vertical-intensity-magnetometer, with which an area of  $40 \times 80$  m<sup>2</sup> as shown in red in fig. 7 was measured, and to compare the reliability of the method part of the same area was remeasured with a denser net of measuring-points as shown in fig. 8; the mean-error at a point is  $\pm 4$  gamma, while most of the positive anomalies lie between 20 and 100 gamma. Afterwards the northern half of the area was excavated and revealed 47 slag pits (fig. 7) 19 of which were undisturbed (full black dots), while the rest were broken up but still lying in their original places, the slags being between 0.6 and 0.9 m in diameter and with weights up to 450 kg. To determine in detail the magnetic anomaly of typical, unbroken slag pits, two small, isolated anomalies

were selected in the undisturbed southern part of the area and remeasured detailed, the anomalies of which turned up to be very regular (fig. 9) and in good accordance with the theoretical pattern from a homogeneously magnetized sphere (or short, vertical cylinder) as shown in figs. 11 and 12; a reconstruction of the complete building is shown in fig. 13. Examples of slag pits are shown in figs. 10 and 14.

Apart from the positive magnetic anomalies due to the slags and the negative gradient in the northwestern part of the area due to nearby modern buildings, a positive anomaly of 20 gamma was found over a filled up well at the corner of the small square house in fig. 7, which may be caused by the greater susceptibility of the humus-rich rubbish in the well as compared to the surrounding homogeneously layered glaciofluvial sands.

The mean direction of the thermoremanent magnetization of 15 specimens from 5 oriented samples from the undisturbed slag pit MF with a C-14-age of  $320 \pm 100$  A.D. was determined by an astatic magnetometer after stepwise cleaning in an a. c. magnetic field from 0 to 680 Oersted. The smallest deviation was found for a demagnetizing field of 170 Oe, which gave a mean of  $19^\circ$  east and  $+70^\circ.7$  for the declination and inclination, respectively, the radius of the 80 %-confidencecircle being  $3^\circ$ . A rude magnetic reduction to and comparison with the secular variation for London (Fig. 5, after Aitken, 1964) propose an age of either 0 to 150 A.D. or after 400 A.D. However, the agreement is not very good, wherefore it is the intention to continue the work on remanence-determinations in an essay of specially determining the secular magnetic variation for the Danish area in the past.

N. Abrahamsen,  
Geologisk Institut.  
Aarhus Universitet.

#### LITTERATURFORTEGNELSE

- Aitken, M. J., 1960: Magnetic prospecting: The proton magnetometer. *Archaeometry*, vol. 3 pp. 38-40.
- Aitken, M. J., 1961: *Physics and Archaeology*. Interscience Publ. New York. 180 s.
- Aitken, M. J., 1964: Remanent magnetism in ancient ceramics and pottery kilns. *Proceedings of the British Ceramic Society*, 2 pp. 143-149.
- Aitken, M. J. & G. H. Weaver, 1962: Magnetic dating: Some archaeomagnetic measurements in Britain. *Archaeometry*, vol. 5 pp. 4-18.
- Allred, J. C., 1965: A fluxgate gradiometer for archaeological surveying. *Archaeometry*, vol. 7 pp. 14-19.
- Breiner, S., 1965: The rubidium magnetometer in archaeological exploration, *Science*, vol. 150 pp. 185-193.
- Bucha, V., 1965: Die archaeomagnetische Forschung und ihre Verwendung zur Bestimmung des Alters der archäologischen Objekte. *Archeologické rozhledy XVII*. 1965, 2 pp. 198-239.
- Franke, H. W., 1963: *Fundene fortæller*. Gjellerup. 163 s.
- Harold, M. R., 1960: Magnetic dating: The spinning magnetometer. *Archaeometry*, vol. 3 pp. 47-49.
- Irving, E., 1964: *Paleomagnetism*. Wiley & Sons, London. 399 s.
- Meteorologisk Institut: Jordmagnetiske forhold i Danmark (med Færøerne og Grønland). 3 s. (folder).
- Schulze, R. & I. Schollar, 1960: Magnetische Untersuchungsmethoden bei archäologischen Forschungen. *Askania, Conti Elektro Berichte*, Heft 4 pp. 2-4.
- Thellier, E., 1936: Aimantation des briques et inclination du champ magnétique terrestre. *Ann. de l'institut de phys. du globe, Univ. Paris*, 14, pp. 65-70.
- Thellier, E. & O. Thellier, 1959: Sur l'intensité du champ magnétique terrestre. *Annales de Geophysique* 15, 3. pp. 285-376.
- Tite, M. S., 1961: Alternative instruments for magnetic surveying: Comparative tests at the iron age Hill-Fort at Rainsborough. *Archaeometry*, vol. 4 pp. 85-90.
- Voss, O., 1962: Jernudvinding i Danmark i forhistorisk tid. *KUML* 1962, pp. 7-32.
- Weaver, G. H., 1961: Magnetic dating measurements. *Archaeometry*, vol. 4 pp. 23-28.