



KUML 1982  
-83

# KUML<sup>1982</sup> -83

ÅRBOG FOR  
JYSK ARKÆOLOGISK SELSKAB

*With Summaries in English*

Jysk Arkæologisk Selskab, Århus 1984

OMSLAG: Tybrind vig, dekoration på åreblad.

*Udgivet med støtte af Statens humanistiske Forskningsråd*

---

*Redaktion: Poul Kjerum*

*Tilrettelæggelse og omslag: Flemming Bau*

*Special-Trykkeriet Viborg a-s*

---

*Skrift: Baskerville 11 pkt.*

*Papir: Stora G-point 120 gr.*

---

*Copyright 1984 by Jysk Arkæologisk Selskab*

---

*ISBN 87-00-86503-3*

*ISSN 0454-6245*

# INDHOLD/CONTENTS

<i>Olaf Olsen: Elna Møller. Worsaae-Medaillen</i> .....	7
Elna Møller. The Worsaae-Medal .....	9
<i>Søren H. Andersen: Mønstrede åreblade fra Tybrind vig</i> .....	11
Patterned oar blades from Tybrind vig .....	28
<i>Jens Jeppesen: Funktionsbestemmelse af flintredskaber.</i>	
Slidsforsanalyse af skraber fra Sarup .....	31
Determination of flint implement function. Wear analysis of scrapers from Sarup .....	56
<i>Torsten Madsen og Jens Erik Petersen: Tidlig-neolitiske anlæg ved Mosegården.</i>	
Regionale og kronologiske forskelle i tidligneolitikum .....	61
Early Neolithic structures of Mosegården, eastern Jutland. Regional and chronological differences in the Danish Early Neolithic .....	111
<i>Klaus Ebbesen: Yngre neolitiske tap-stridsøkser. Nyt lys på enkeltgravstiden</i> .....	121
Younger Neolithic shaft-tongued battle axes. New light on the Single Grave Culture .....	133
<i>Peter Rowley-Conwy: Bronzealderkorn fra Voldtofte</i> .....	139
A new sample of carbonized grain from Voldtofte .....	147
<i>Karin Levinsen: Jernets introduktion i Danmark</i> .....	153
The introduction of iron to Denmark .....	164
<i>Erling Benner Larsen: Værktøjsspor/På sporet af værktøj. Identifikation og dokumentation af værktøjsspor, – belyst ved punselornamenterede genstande fra Sejlflod</i> .....	169
Tracing the tools by their traces. Identification and documentation of tool traces – illustrated through punch-decorated objects from the Early Germanic Iron Age .....	179
<i>Helge Brinch Madsen og Leif Chr. Nielsen: Nørre Vosborg. En kvindegrav fra ældre vikingetid</i> .....	181
Nørre Vosborg. A woman's grave from the Early Viking Period .....	194
<i>Lise Bender Jørgensen: Tekstilerne fra Nørre Vosborg</i> .....	197
The Textiles from Nørre Vosborg .....	202
<i>Erling Johansen og Aslak Liestøl: Kong Haralds »mishandlede« Jellingsten</i> .....	205
King Harald's "mishandled" Jelling Stone .....	211
<i>Johan Lange: Danmarks bod (TanmarkaR böt). Et nyt tolkningsforsøg</i> .....	213
TanmarkaR böt. A new interpretation .....	218
<i>Niels Åge Nielsen: Nyt om Hemdrup træpind</i> .....	219
The Hemdrup stave again .....	221
<i>Peter Pentz: Vore gamle våbenhuse og deres tidlige brug</i> .....	223
Our old church porches and their former use .....	244
<i>Jesper Laursen: Fortidsminder i Århus skovene</i> .....	253
Prehistoric monuments in the Århus forests .....	262
<i>Niels Abrahamsen: Arkæomagnetiske forsøg med rekonstruerede teglovne</i> .....	265
Archaeomagnetic experiments on reconstructed kilns .....	277
<i>Tage E. Christiansen: Bygningen på søndre Jellinghøj. En berigtigelse</i> .....	279
A correction. The construction of the southern Jelling mound .....	283
<i>Jysk Arkæologisk Selskab</i> .....	285
<i>Dronning Margrethe II's Arkæologiske Fond</i> .....	287

# ARKÆOMAGNETISKE FORSØG MED REKONSTRUERED E TEGLOVNE

---

Af Niels Abrahamsen

## Baggrunden for arkæomagnetiske undersøgelser

De fleste jordarter indeholder en del jern, typisk nogle få procent, i form af jernoxyder og jernhydroxyder, som dog ved deres naturlige forekomst i sedimentet kun er svagt magnetiske og oftest med en ret tilfældigt orienteret magnetisering. Sedimentets naturlige remanente magnetisering (NRM) er derfor svag og uregelmæssig, men kan dog i tilfælde af at aflejringen er uforstyrret meddele interessante ting om jordens forhistorie (1).

Ved en eventuel opvarmning til 5-600 grader (Curiepunktet for magnetit, det mest magnetiske og ret almindelige mineral, er 578 grader celcius), og derpå efterfølgende afkøling i Jordens magnetfelt, vil magnetfeltet inducere en permanent magnetisering (en termo-remanent magnetisering, TRM) i de tilstedeværende ferromagnetiske jernoxyder, som vil være meget kraftigere end den tidligere NRM. Den øgede intensitet skyldes dels, at der ved opvarmningen nydannes stærkt magnetiske jernoxyder ved dehydrering af de oprindelige jernhydroxyder, og dels, at de enkelte jernoxyder magnetiseres parallelt og proportionalt med det ydre jordmagnetfelts retning og intensitet; ved afkølingen fastlåses denne magnetisering i de ferromagnetiske domæner, så materialet som helhed får en relativt stabil og vedvarende magnetisering. Det er med andre ord blevet »magnetisk« i dagligdags forstand.

Hvis materialet på et senere tidspunkt forstyrres, f.eks. ved mekanisk omordning, mindskes den fælles magnetisering noget, fordi den termo-remanente magnetisering nu ikke mere er ensrettet, men den forstyrrede TRM vil dog fortsat være væsentligt kraftigere end den oprindelige svage NRM på grund af det øgede indhold af jernoxyder. Dette bevirker desuden en højere værdi af den magnetiske susceptibilitet og dermed en kraftigere induceret magnetisering fra jordmagnetfeltet.

Det er f.eks. kendt, at dyrkningslaget normalt har generelt højere susceptibilitet end de underliggende mere »sterile« jordlag. Årsagen hertil er formentlig tidligere udbredt anvendelse af svedjebrug, kombineret med biokemiske processer i jordbunden, som det er blevet foreslået af Le Borg-

ne i et klassisk arbejde (2). At oxideringen også på anden vis kan spille en væsentlig rolle for de magnetiske egenskaber i jordbunden er blevet vist i forbindelse med en interessant undersøgelse af jordbundsudviklingen i det inddæmmede Kolindsund på Djursland (3).

Et andet eksempel på en øget magnetisering findes i rester fra ildsteder, som dels fremkalder en magnetisk anomali, der kan påvises før en udgravning ved detaljerede magnetiske overflademålinger (4), og dels vil kunne dateres ved måling af retningen af den remanente magnetisering i orienterede prøver af det uforstyrrede materiale (5), idet det ydre magnetfelt langsomt har skiftet retning i tidens løb (den geomagnetiske sækularvariation). Også intensiteten af det ydre jordmagnetfelt har varieret i tidens løb, hvilket formentligt også vil kunne benyttes til datering af løse teglfragmenter, efterhånden som denne variation bliver kendt tilbage i tiden i tilstrækkeligt detaljeret grad (6).

Specielt i forbindelse med ovne til teglbrænding (7) er muligheden for at udnytte de magnetiske metoder (påvisning og datering) til stede i

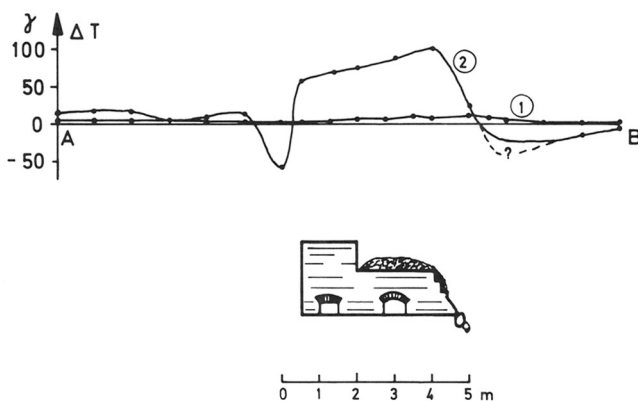


Fig. 1: Nederst er i snit skitseret de to rekonstruerede ovne ved Moesgaard, bygget i skala 7:10 efter de originale middelalderovne fra Bistrup ved Roskilde. Den høje ovn til venstre er den rektangulære forglødningsovn, mens den lavere, kuppelformede ovn til højre er glasurovnen. Indfyrringsåbningerne vender mod sydvest.

Øverst er vist den magnetiske anomali  $\Delta T$  af totalfeltet i profilet A-B, dels for den 1. opmåling efter de første brændinger i glasurovnen (jfr. figur 2), og dels for den 2. opmåling, efter at der havde været intensive brændinger i begge ovne. Målingerne er foretaget 1 m over terræn henholdsvis ovnenes oversider. Det fremgår, at ovnene er blevet væsentligt mere magnetiske efter den anden serie brændinger, hvilket skyldes dels højere temperaturer og dels kraftigere reduktion.

Below, a sketch showing the two kilns at Moesgaard: a reconstruction at a scale of 7:10 of the original Medieval kilns at Bistrup near Roskilde. The tall kiln to the left is the rectangular biscuit kiln, while the lower, domed kiln to the right is the glazing kiln. The stokeholes face southwest.

Above, the magnetic anomalies  $\Delta T$  of the total field in section A-B, for the first measurement after the first firings in the glazing kiln (cf. Fig. 2), and for the second measurement after intensive firings in both kilns, are shown. Measurements were taken 1 m above ground and 1 m over the top of the kilns, respectively. It is apparent that the kilns have become considerably more magnetic after the second series of firings, which is due partly to higher temperatures and partly to stronger reduction.

særlig grad, dels fordi det anvendte ler bliver kraftigt magnetisk på grund af dets betydelige jernindhold, og dels fordi det magnetiske materiale normalt er lokalt til stede i usædvanligt store mængder som affald fra brændingerne, også selv om de oprindelige anlæg forlængst er forsvundet.

Den samlede magnetisering af teglstenene og dermed den magnetiske anomali over teglovnene vil være bestemt dels af stenenes remanente magnetisering  $J_r$  (med fast orientering i materialet) og dels af stenenes magnetiske susceptibilitet  $k$ . Susceptibiliteten bevirker, at der i stenene induceres en magnetisering  $J_i = k \cdot T$  parallelt og proportionalt med det ydre jordmagnetfelt  $T$ . Den remanente og den inducerede magnetisering er i naturlige sedimente og bjergarter ofte omtrent lige store, d.v.s. forholdet  $Q = J_r/J_i$  er lig med ca. 1. Hvis  $Q$  er større end 1, dominerer den remanente magnetisering, og omvendt dominerer den inducerede magnetisering, hvis  $Q$  er mindre end 1. For nybrændte sten er  $Q$  normalt større end 1 (Typisk 10-50).

Hvis stenene ligger *in situ*, det vil i denne sammenhæng sige uforstyrrede efter den seneste opvarmning og påfølgende afkøling, vil  $J_r$  og  $J_i$  være ensrettede, hvilket resulterer i en kraftigere magnetisk anomali over ovnene. Hvis stenene derimod er nedbrudt eller blot flyttet til mere tilfældige orienteringer, får  $J_r$  en mere tilfældig og varieret retning, mens  $J_i$  stadigvæk er orienteret parallelt med det ydre magnetfelt  $T$ . Den resulterende magnetiske anomali over ovnene vil da blive svagere og mere uregelmæssig.

## Brændingsforsøg og magnetiske opmålinger

For at skaffe eksperimentelle resultater for, hvilke magnetiske effekter der kan forventes ved magnetiske målinger omkring og over middelaldertegl-ovne, er der udført to sæt magnetiske opmålinger over et par nutidige ovne ved Forhistorisk Museum Moesgaard.

De to ovne er opført som en rekonstruktion (8) i skala 7:10 af et middelalderligt ovnanlæg ved Bistrup nord for Roskilde, der via ornamenterede fliser (9) kan dateres til første halvdel af 1300-tallet (10). Anlægget består af en sammenbygning af en rektangulær teglovn (forglødningsovn) og en kuppelformet glasurovn, som skitseret i figur 1. Forglødningsovnen (ovn IV) er en skorstensagtig ca. 2 m høj åben ovn med en grundflade på ca. 1.5 m x 2 m, mens glasurovnen (ovn III) er en ca. 1.5 m høj hvælvet kuppelovn med en oval grundflade på mellem 1.5 og 2 m i tværmål.

De originale ovnrester ved Bistrup Hovedgård har endvidere været underkastet en række specielle undersøgelser med henblik på såvel en arkæomagnetisk datering (11) som en magnetisk kortlægning (12).

De rekonstruerede ovne ved Moesgård er opført på samme tid (1979) og bygget af fabriksfremstillede teglsten af rødler fra Hammershøj Tegl-

værk vest for Randers. Til hver ovn er benyttet ca. 1000 rødbrændte teglsten (13). Efter opførelsen blev der i forsommeren 1979 foretaget 2 brændinger i glasurovnen, men ingen i teglovn. Ved forglødningen tilstræbtes en gennemsnitstemperatur for hele ovnen på omkring 800 grader celsius, mens temperaturen ved glasurbrændingen skal op på 900-950 grader (14). Ved den første glasurbrænding var der problemer med varmfordelingen, idet fliserne i det nederste kantstillede skifte ikke blev

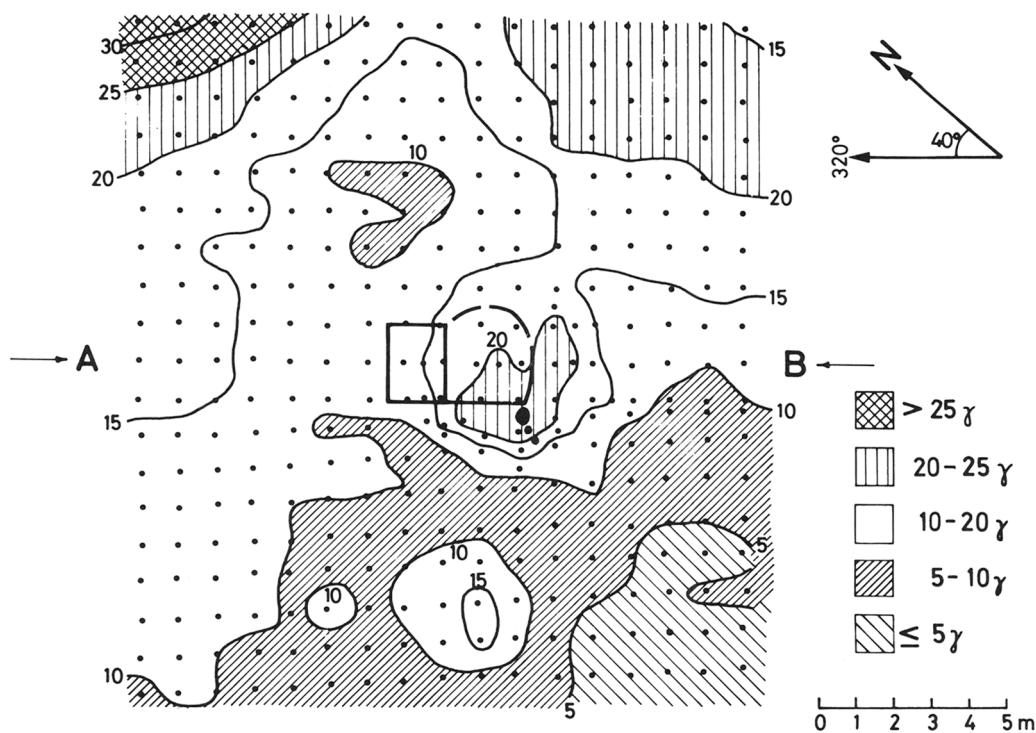


Fig. 2: De magnetiske anomalier  $\Delta T$  i gamma af totalfeltet ved den første magnetiske opmåling. Ovnenes grundplan er vist i figuren. Målingerne er udført i et ca.  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  net, og anomalikurver med 5 gamma ækvistand er indtegnet.

Overlejret en regional magnetisk gradient, der vokser fra syd mod nord, og som skyldes de underliggende geologiske lag, ses en svag, cirkulær anomali over glasurovnen (som på denne tid har været fyret op) med en maksimal værdi på ca. +20 gamma i forhold til de rolige omgivelser. Anomalien over forglødningsovnen (der på dette tidspunkt *ikke* har været fyret op) er mindre end 5 gamma. Små anomalier på ca. 10 gamma sydvest for ovnene kan skyldes svagt øget susceptibilitet i jordbunden. A-B angiver det magnetiske profils placering, som er vist i figur 1.

The magnetic anomalies  $\Delta T$  in gamma of the total field at the first magnetic measurement. The ground plan of the kilns is shown in centre. The measurements were carried out in a c.  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  net, and anomaly contours are at 5  $\gamma$  equidistance. Superimposed on a regional magnetic gradient, which increases from south to north and is due to the underlying geological layers, a weak circular anomaly over the glazing kiln (which had been fired at that time) is seen, with a maximum value of c. +20  $\gamma$  in relation to the steady ambient values. The anomaly over the biscuit kiln (which had at the time *not* been fired) is less than 5  $\gamma$ . Small anomalies of c. 10  $\gamma$  south-west of the kilns may be due to slightly increased subsoil susceptibility. A-B gives the position of the magnetic profile shown in Fig. 1.



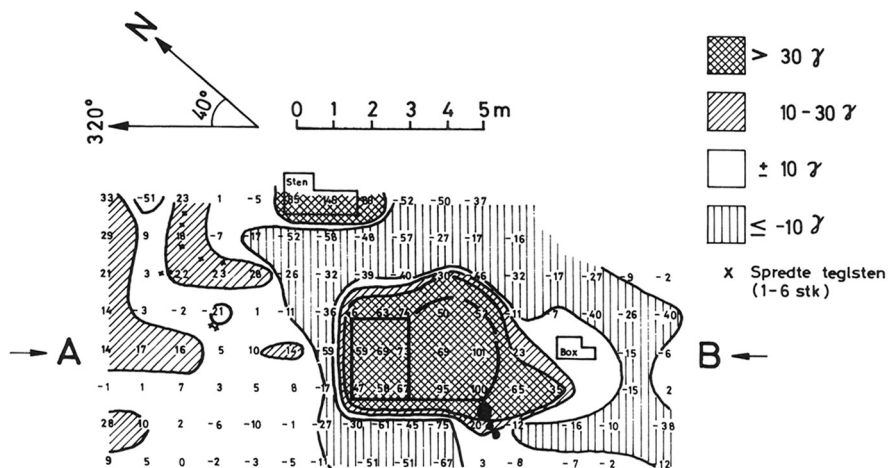


Fig. 3: De magnetiske anomalier  $\Delta T$  i gamma af totalfeltet ved den anden magnetiske opmåling. De magnetiske anomalier over ovnene er nu 70 til 100 gamma og indikerer mere gennemgribende opvarmning og reduktion af materialet. En stabel på ca. 600 teglsten, der har været brændt i ovnene og nu er stablede på den smalle langside nord for ovnene, giver ligledes en kraftig anomali på ca. 150 gamma. Endvidere er der sket en generel øgning af det magnetiske støjniveau, som kan tilskrives spredtliggende smågrupper af stærkt brændte og delvist sintrede teglsten.

The magnetic anomalies  $\Delta T$  in gamma of the total area at the second magnetic measurement. The magnetic anomalies above the kilns are now 70-100  $\gamma$  and indicate more radical heating and reduction of the material. A stack of c. 600 tiles, fired in the kilns and now stacked on their sides north of the kilns, gives a strong anomaly of c. 150  $\gamma$ . There has also been a general increase in the magnetic background noise, which may be attributed to scattered clusters of strongly fired and partly sintered tiles.

tilstrækkeligt ophedet til, at glasuren smeltede. Efter at ovnen var tømt, blev den første overflademåling af magnetfeltet omkring og over ovnene lavet i oktober 1979, jfr. figur 2.

I forsommeren 1980 blev der for første gang brændt sten i teglovnene, og der blev samtidig udført yderligere 2 brændinger i glasurovnen (fliser og efterbrænding). Efter disse brændinger blev 4 lag á ca. 40 brændte teglsten liggende uforstyrrede i bunden af hver ovn til efter den 2. magnetiske opmåling, der fandt sted i juli 1980, jfr. figur 3.

Ved brændingen blev der foretaget en række temperaturmålinger (15), som indikerer, at temperaturen generelt var mindst ca. 850 grader celsius i ovnene, og stedvist en del højere, især omkring indfyrringskanalerne (1100-1200 grader), hvor materialet kunne være sintret og delvist reduceret til sortfarvning. Temperaturen på ovnenes ydersider blev ikke målt, men skønnes at have været ikke over ca. 100 grader.

De to sæt overflademagnetiske målinger blev udført med et bærbart Scintrex protonmagnetometer, der måler totalmagnetfeltet med en nøjagtighed på  $\pm 1$  gamma (1 nanotesla). Totalfeltet er på stedet ca. 49330

gamma, misvisningen 0 grader og inklinationen ca. + 70 grader (vinklen med det vandrette plan). Målingerne udførtes i en fast højde på 1 m over jordoverfladen, henholdsvis ovennes overside. Inden målingerne blev et regelmæssigt målenet etableret ved hjælp af en række pløkke med 1 m afstand på hver side af ovnene.

Målingerne blev udført som profilmålinger i 1 eller 0.5 m intervaller langs en snor udspændt mellem de to rækker pløkke, parallelt med ovnes facade (N320°V). Før og efter hvert profils måling blev et basispunkt et stykke fra ovnene kontrolmålt, og profilmålingerne korrigeret for den geomagnetiske daglige variation ved lineær interpolation. Mellem de to opmålinger, et tidsrum på 9 måneder, var det generelle niveau af totalfeltet aftaget ca. 40 gamma, hvilket hovedsageligt kan tilskrives magnetfeltets sekularvariation.

### Bestemmelse af magnetiseringen

Som omtalt ovenfor er den samlede magnetisering summen af den inducerede magnetisering  $J_i$  og den remanente magnetisering  $J_r$ , såfremt disse er ensrettede (materialet in situ).  $J_r$  kan måles på udborede kerneprøver fra stenene, mens  $J_i$  er produktet af susceptibiliteten og det ydre felt,  $J_i = k \cdot T$ .

Resultaterne af ca. 200 susceptibilitetsmålinger på overfladerne af hele teglsten og teglfliser fra forsøgsovnene er resumeret i tabel 1. Målingerne er foretaget ved hjælp af et kappameter. Det fremgår, at graden af reduktion ved brændingen har stor betydning for susceptibilitetens størrelse. Graden af reduktion kan bedømmes groft ud fra farven, idet klar rød svarer til ikke-reducerende brænding, mens mørke nuancer svarer til reducerende brænding.

De målte (logaritmiske) middelværdier af susceptibiliteten for de reducerede sten er 6 til 10 gange højere end susceptibiliteten for de ikke-reducerede sten. Det betyder, at ved en fortrinsvis reducerende brænding vil den magnetiske anomali over ovnen bare på grund af susceptibiliteten blive forøget 6 til 10 gange.

Mens de teglsten, der har været brændt i teglovn, har været udsat for varierende grader af reduktion, især afhængig af deres placering i forhold til fyringskanalerne, er det klart, at ovnenes ydersider ikke kan være reducerede i forhold til deres oprindelige oxidationsgrad (= ensartede teglrøde sten fra kommercielt teglværk), dels fordi de ikke har været varmet ret meget op, og dels fordi de har været i oxiderende miljø hele tiden. De laveste værdier for susceptibiliteten findes da også på ydersiden af ovnene, der fortsat er teglrøde. Afhængigt af brændingsgrad og reduktionsgrad på indersiden må det formodes, at susceptibiliteten vil vokse gradvist indefter fra ovnens koldere yderflader. Denne formodning støttes af de lidt højere værdier, der er målt på oversiden af teglovnens øverste

skifte. Disse værdier ( $0.6-0.7 \cdot 10^{-4}$  G/0e) må svare til værdier inde i ovnvæggen.

Målinger på de indvendige sider af ovnloft og bund i glasurovnen viser højere værdier for susceptibiliteten ( $2.1-6.4 \cdot 10^{-4}$  G/0e). Farven kunne ikke iagttages på grund af sodovertræk, men stenene må forventes at være mere eller mindre reducerede her.

Hvorvidt  $J_r$  har ændret sig i ovnenes yderflader er ikke undersøgt. Selv om størrelsen af  $J_r$  for de ydre sten i ovnene antagelig kun er vokset moderat i takt med susceptibiliteten og dermed  $J_r$ , er det dog sandsynligt, at retningen af  $J_r$  delvist vil være drejet og ensrettet med det ydre jordmagnetfelt, idet der dannes partielle termoremanente komponenter under hele nedkølingsforløbet ifølge Thelliers additionslov (16). Stenenes oprindelige  $J_r$  fra brændingen i teglværket vil have dannet en vinkel på ca. 70 grader med den smalle langside (løberen), idet stenene stables med denne flade vandret før brændingen (17). Efter opmuringen i de rekonstruerede teglovne ligger de fleste sten på den store flade, d.v.s. med den smalle langside lodret. Den oprindelige  $J_r$  vil derfor have en ret tilfældig orientering efter konstruktionen af ovnene og før den første brænding af dem.

I tabel 1 er ligeledes anført susceptibiliteten målt på overfladen af fem ornamenterede fliser (18), hvoraf de 4 var glaserede på forsiden. Generelt er susceptibiliteten høj for fliserne (middelværdi på  $4.2 \cdot 10^{-4}$  G/0e), som i overensstemmelse med deres mørke farver må være noget reducerede. Dog viser det sig, at der er en tydelig forskel i susceptibiliteten mellem målinger på de glaserede og de uglaserede flader, idet de 4 glaserede flader kun har halv så høj middelsusceptibilitet som de uglaserede flader. Det må betyde, at glasuren virker noget hæmmende på graden af reduktion af fliserne under glasurbrændingen; dette er forståeligt, da glasuren spærrer for luftens adgang, og glasuren iøvrigt selv er umagnetisk.

Tre marksten af granit ved det sydlige hjørne af glasurovnen, hvoraf den største skønnes at veje 100-150 kg, gav en middelsusceptibilitet på  $6.2 \cdot 10^{-4}$  G/0e. En sådan sten vil i sig selv bevirke en lokal magnetisk anomali på ca. 5 gamma målt i en meters afstand, hvis  $Q = 1$ .

Mens susceptibiliteten kan måles hurtigt og bekvemt direkte på materialets overflade, kræver måling af den remanente magnetisering, at prøven kan flyttes i forhold til måleinstrumentet, samt at den har en veldefineret og simpel form. Grove målinger udføres på hele sten, mens mere nøjagtige målinger kræver en præparation af materialet i en ækvidimensional form (kugle, cylinder eller terning).

Fra 10 teglsten fra teglstablen i teglovnens indfyringskanal samt de 5 ornamenterede fliser blev ialt 129 cylindriske kærneprøver med diameter og længde på  $2\frac{1}{2}$  cm udboret, hvorefter den remanente magnetisering  $J_r$  blev målt på et spinmagnetometer. Desuden blev susceptibiliteten målt på de samme prøver. Begge sæt målinger er angivet til højre i tabel 1.

Susceptibiliteten af kærneprøverne viser en meget stor variation for teglstenenes vedkommende ( $k_{\max}:k_{\min}=58$ ), hvilket illustrerer, hvor meget de magnetiske egenskaber kan fluktuere selv inden for en ganske lille og tilsyneladende homogen population; dog er der god overensstemmelse mellem middelværdierne af de to sæt målinger.

Også den remanente magnetisering for teglsten og fliser viser en voldsom variation ( $J_{\max}:J_{\min}=22$  henholdsvis 72), selv om middelværdierne af  $J_r$  for de to typer er omtrent ens (hhv. 51 og  $43 \cdot 10^{-4}$  Gauss).

De resulterende værdier af Q-forholdet  $J_r/J_i$  på hhv.  $36 \pm 5$  og  $41 \pm 11$  viser, at den remanente magnetisering  $J_r$  er stærkt dominerende i forhold til den inducerede magnetisering  $J_i$ , med deraf følgende konsekvenser for de magmatiske anomalier. Et kendskab alene til susceptibiliteten ville derfor kunne give helt fejlagtige konklusioner om de forventede anomalier!

### Magnetisk anomali fra en gruppe teglsten

Med kendskab til teglmaterialets magnetisering kan man beregne, hvor stor en magnetisk anomali en given geometrisk konfiguration af materialet vil bevirke, idet hver sten giver sit lille bidrag til den magnetiske anomali (19).

Af udtrykket for den maksimale værdi af magnetfeltet  $\Delta T$  i afstanden  $r$  cm fra en simpel magnetisk dipol med det magmatiske moment  $M$ ,  

$$\Delta T = 2M/r^3.$$

fås med tilnærmelse den maksimale anomali fra en homogent magnetiseret sten

$$\Delta T_{\max} = 2v \cdot J/r^3 = 2v \cdot (J_r + J_i)/r^3 = 2v \cdot (Q+1) \cdot k \cdot T/r^3.$$

Det magnetiske moment er  $M = v \cdot J$ , hvor  $v$  er stenens volumen i  $\text{cm}^3$ , mens stenens magnetiseringsintensitet  $J = J_r + J_i$  er summen af den remanente  $J_r$  og den inducerede magnetisering  $J_i = k \cdot T$ , målt i Gauss.  $T$  er det ydre jordmagnetfelt ( $T \approx 0.5$  Ørsted) og  $k$  er susceptibiliteten i Gauss/Ørsted. Det er her forudsat, at retningen af  $J_r$  og  $J_i$  er parallelle; i modsat fald må  $J_r$  og  $J_i$  adderes vektorielt.

Når  $J_r$  er meget større end  $J_i$ , hvilket svarer til at forholdet  $Q = J_r/J_i = J_r/k \cdot T$  er meget større end 1, kan man se bort fra  $J_i$  og dermed susceptibiliteten; d.v.s. den magnetiske anomali er hovedsagelig bestemt af størrelsen af  $J_r$  alene. Hvis  $Q \approx 1$  har både  $J_r$  og  $J_i$  væsentlig betydning for anomalien. Hvis  $J_r$  og  $J_i$  ikke er parallelle, eller hvis  $J_r$  ikke er homogen (f.eks. svarende til at materialet er forstyrret), bliver  $\Delta T_{\max}$  mindre end angivet ved formlen.

En delvist reduceret munkesten med et volumen på ca.  $2000 \text{ cm}^3$ , en remanent magnetisering på 0.005 G og negligabel susceptibilitet, vil f.eks. i en afstand af  $r = 100$  cm kunne give en maximal anomali på op til

$$\Delta T_{\max} = 2 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} / 100^3 \text{ G} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ G} = 2\gamma, \text{ idet } \gamma \text{ (gamma)} = 10^{-5} \text{ Gauss.}$$

Selv om bidragene til den samlede anomali ikke adderes på simpel vis, men vektorielt, kan man dog godt estimere størrelsesordenen af en forventet magnetisk anomali fra en mindre samling af sten med nogenlunde ens magnetisering ved at gange anomalien fra en sten med antallet af sten, forudsat at stengruppens udstrækning er lille i sammenligning med afstanden fra magnetometeret til stengruppen; det vil sige, at med et voksende antal sten er det samlede bidrag ikke lineært, men flader ud.

Som tommelfingerregel kan man derfor forvente, at en kompakt gruppe ens magnetiserede munkesten i antal af mellem 10 og 100 sten højst vil kunne give en maksimal anomali (målt i 1 meters afstand fra stenene) på et sted mellem 20 og 200 gamma. Et større antal sten vil næppe give anledning til en væsentlig større anomali, da kilden nu ikke længere er tilnærmet punktførmig. Over moderne teglsten med ca. halvt så stort volumen som munkesten bliver anomalien tilsvarende mindre, hvis magnetiseringen iøvrigt er den samme. Det er dog værd at bemærke, at både susceptibilitet og Q-forhold varierer temmelig meget selv for materialer, der ser ret homogene ud. Variationer på 10 gange eller mere er almindelige, som det også fremgår af tabel 1. De nævnte skønnede maksimale anomalier vil da kunne variere tilsvarende.

## Resultatet af de 2 magnetiske opmålinger

På figur 2 og 3 er resumeret resultaterne af de to magnetiske opmålinger, der er foretaget over de rekonstruerede ovne. På figur 2 er de målte punkter vist med prikker, og kurver med ækvidistance på 5 gamma for totalfeltets anomali  $\Delta T$  er interpoleret. Ovnens grundplan er vist midt i figuren, og terrænet skråner noget mod sydvest. Over glasurovnen er der en cirkulær, svag anomali, der når en maksimal værdi på 20-25 gamma i det sydvestlige hjørne. En del af anomalien kan skyldes førnævnte kampesten, som ligger ud for dette hjørne.

Kurveforløbet domineres iøvrigt af jævnt voksende værdier fra syd mod nord. Denne variation samt andre uregelmæssigheder i kurverne skyldes dels jordbunden og dels de underliggende geologiske lag (kvartære og tertiære sedimentter).

Den magnetiske anomali i profilet mellem punkterne A og B er vist detaljeret på figur 1, hvor de markerede punkter angiver de målte værdier.

Den ret svage anomali over glasurovnen stemmer godt overens med oplysningen om, at det nederste lag fliser ikke blev glaseret i første omgang, d.v.s. temperaturen var under 800 grader celcius. Ud fra den første magnetiske opmåling kan det sandsynliggøres, dels at temperaturen af

ovngulvet som helhed ikke nåede op over ca. 500 grader, idet typisk omkring 50 % af magnetiseringen finder sted ved afkøling i temperaturintervallet mellem ca. 500 grader og Curie-punktet, 578 grader C, og dels at gulvet ikke var reduceret ved denne brænding.

Anomalien over den rektangulære teglovn er kun ca. 5 gamma. Dette er i overensstemmelse med, at der på tidspunktet for den første magnetiske opmåling endnu ikke havde været nogen brænding i ovnen, og at der derfor har været en mangelfuld ensretning af de fladtliggende teglstens remanente magnetisering. Med en tilfældig orientering af denne (svage) remanente magnetisering og en værdi af susceptibiliteten på  $10^{-4}$  G/Oe for 100 nyopmurede røde teglsten, kunne vi ifølge ovennævnte tommelfingerregel forvente en maksimal anomali på nogle få gamma, hvilket er i god overensstemmelse med opmålingen.

Resultatet af den 2. magnetiske opmåling over ovnene efter brændinger i begge ovne er vist på figur 3. De målte magnetiske anomalier er direkte angivet i tal (efter subtraktion af 49327 gamma, basisværdien), og ved krydsskravering er angivet områder med en anomali på over +30 gamma.

Det fremgår af figur 3, at grundplanens geometri for begge ovnene samt en stabel på ca. 600 teglsten, som var blevet brændt i ovnene og dernæst regelmæssigt stablet på den smalle langside 3-4 m nordøst for ovnene inden opmålingen, aftegnes meget klart i de magnetiske anomalier. Over forglødningsovnen er den maksimale anomali ca. +70 gamma, over glasurovnen ca. +100 gamma, og over den mere kompakt stablede stak af sten ca. +150 gamma.

I bunden af hver ovn lå yderligere ca. 150 sten uforstyrrede efter brændingen. Efter tommelfingerreglen, med  $J_r = 5 \cdot 10^{-3}$  G og  $k = 3 \cdot 10^{-4}$  G/Oe, giver hver sten ca.  $1\gamma$  i 1 m afstand, vi skulle således kunne forvente maksimale anomalier over ovnene på op til et par hundrede gamma. I betragtning af, at stenene ikke er kompakte, og at hovedparten af stenene i ovnens gulve og sider er 2-3 m fra måleplanet og derfor bidrager 4-9 gange mindre til den samlede anomali end i den for beregningen forudsatte afstand på 1 m, samt at susceptibilitet og Q-forhold er varierende, er der rimelig god overensstemmelse mellem teori og praksis også ved denne opmåling.

På figur 3 er der nord for ovnene med kryds markeret spredtliggende smågrupper på 1-6 teglsten. Disse sten er åbenbart affaldssten fra de sidste brændinger, som er sorteret fra ved ovnenes rømning, fordi de på grund af stærk opvarmning er delvist smeltede eller sintrede, og stærkt reducerede. Disse spredte smågrupper af stærkt magnetiske teglsten, »fejlbrændinger«, forklarer de spredte småanomalier nord for ovnene, og er formodentlig også årsag til det generelt forøgede magnetiske støjniveau nordvest for ovnene, som står i kontrast til den første opmålings mere ensartede værdier.

## Generelle konklusioner

På baggrund af de to magnetiske opmålinger over forsøgsovnene samt med kendskabet til intensiteten af stenenes remanente magnetisering og susceptibilitet kan man drage en række generelle konklusioner om magnetiske anomalier i forbindelse med teglovne og teglprodukter, som vil kunne udnyttes i tilsvarende arkæologiske situationer:

1. På grund af den ret lave magnetiseringsintensitet vil en gruppe moderne, røde teglsten, der indgår i murværk, stensætninger, affaldsbunker o.s.v. normalt kun give en ret svag magnetisk anomali på op til måske  $\pm 10$  gamma.
2. Magnetiseringsintensiteten og dermed den magnetiske anomali tiltager med graden af reduktion af stenene, idet der ved reduktionen dannes magnetit på bekostning af andre jernforbindelser.
3. Magnetiseringen og dermed den magnetiske anomali over en teglovn (eller et andet ildsted) er en kraftig funktion af både den opnåede temperatur i ovnmaterialet og af reduktionsgraden i dette.
4. Foruden den magnetiske anomali fra selve ovnkonstruktionen eller fra resterne heraf, vil der på grund af affald fra teglproduktionen ske en generel øgning af den magnetiske baggrundsstøj på stedet.
5. Fejlbrændinger vil normalt være mere magnetiske end 'vellykkede' brændinger og derfor være lette(re) at påvise ved magnetisk opmåling.
6. Glaserede fliser er generelt noget mindre magnetiske end tilsvarende uglaserede fliser.
7. Materiale, der ligger uforstyrret hen siden sidste brænding, giver generelt en kraftigere magnetisk anomali end materiale, der har været flyttet og er tilfældigt orienteret eller er nedbrudt siden sidste brænding.
8. Magnetiske detailopmålinger over et begrænset område med spredte teglfragmenter (som indledende indikatorer på tidligere aktiviteter) er en hurtig og enkel metode til lokalisering af ovnstrukturer og rester fra teglproduktion, idet den enkelte magnetiske måling kun tager nogle sekunder med et handy og bærbart protonmagnetometer (12).
9. Med et groft kendskab til materialets magnetiseringsintensitet (som kan måles på løse fragmenter) kan den magnetiske anomali benyttes til at give et skøn over mængden samt strukturen af det arkæomagnetiske materiale, forudsat at signal/støjforholdet (12) er passende gunstigt, d.v.s. at det er indlejret i et iøvrigt umagnetisk geologisk materiale, og at der ikke er andre lokale magnetiske felter, som forvrænger målingerne. Et sådant

skøn kan være værdifuldt ved planlægningen af en arkæologisk udgravnings placering og omfang.

Planlægningen af de magnetiske undersøgelser er udført i samarbejde med Egon Hansen, der beredvilligt har stillet sin viden om de rekonstruerede teglovne og teglbrændingsforsøgene til rådighed. Kappameter og protonmagnetometer var udlånt af Günther Schönharting. Den første magnetiske opmåling blev foretaget sammen med Finn Svendsen, præparering af kerneprøver blev udført af Dirk van Rooy, mens remanensmålinger er udført af Poul-Erik Jakobsen. Alle takkes for deres imødekommenthed og samarbejde.

Tabel 1: NRM, susceptibilitet og Q-forhold på forsøgsovne

	<i>Hele sten:</i>				<i>Kerneprøver:</i>							
	susc.	vari.	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	J <sub>r</sub>	vari.	susc.	vari.	$\bar{Q} \pm m(\bar{O})$	s(Q)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
	10 <sup>-4</sup> G/Oe				10 <sup>-4</sup> G		10 <sup>-4</sup> G/Oe					
<i>Teglovn:</i>												
Teglstabel langs indfyringskanal 2)	4.6	3.0-7.0	10	54	51	9-200	3.2	0.2-11.6	36±5	15	10	94
Teglstabel nord for ovnene, sorte 3)	4.9	3.5-6.9	10	10								
Teglstabel nord for ovnene, røde 1)	0.9	0.6-1.3	7	7								
Ydre sten i ovnene NV hjørne 1)	0.4	0.3-0.6	15	15								
Øverste skifte i ovnens overside 1)	0.6	0.6-0.7	5	5								
<i>Glasurovn:</i>												
5 ornamenterede fliser, 4 m glasur:												
middel af forsider og bagsider 2)	4.2	2.1-8.4	10	40	43	2.7-194	3.9	1.6- 9.1	41±11	25	5	35
middel af 4 glas. forsider	2.7	1.3-5.9	4	16								
middel af uglaserede flader	5.7	3.7-8.8	6	24								
ydre sten omkr. indfyringsåbning 1)	0.5	0.4-0.5	10	10								
indre sten i loft over												
indfyringsåbning	2.1	1.8-2.4	6	6								
sten i gulv inden for												
indfyringsåbning	6.4	5.3-7.6	8	8								
<i>granit</i> (feldspatporfyr):	6.2	3.4-10.7	2	9								

susc. = logaritmisk middelværdi af N<sub>1</sub> logaritmiske middelværdier k  
 N<sub>1</sub> = antal sten målt  
 N<sub>2</sub> = antal målinger ialt  
 NRM = logaritmisk middelværdi af N<sub>1</sub> logaritmiske middelværdier  
 Q = middel af Q = NRM/k · T; T totalfeltet = 0.490e

1) røde, ikke reducerede  
 2) mørkebrune, noget reducerede  
 3) sorte, reducerede



## SUMMARY

---

### Archaeomagnetic Experiments On Reconstructed Kilns

Baked clays are known to be somewhat magnetic, and in the archaeological context the magnetic anomaly may be detected by measurements on the surface before excavation is undertaken. The anomaly is caused by the increased values of the two magnetic parameters of the material: the remanent magnetization  $J_r$  and the magnetic susceptibility  $k$  (Abrahamsen, 1966; Aitken, 1974). In order to investigate a model case (fig. 1) with known geometry and magnetic parameters, a magnetic investigation has been made at Moesgaard Museum of two reconstructions on scale 7:10 of the Medieval Kilns at Bistrup (Hansen and Sørensen, 1980; Abrahamsen et al., 1982). For the reconstruction red, weakly magnetic bricks from a commercial brickworks were used.

After the first moderate heating in one of the kilns, the magnetic anomaly was measured over both kilns, and showed only a weak anomaly of about 20  $\gamma$  (fig. 2). After further heatings in both ovens, an anomaly of ca. 100  $\gamma$  was found (Fig. 3). This indicates that the all-round temperature now had passed the Curie temperature of magnetite (ca. 578°C), increasing the remanent magnetization significantly.

Measurements of the susceptibility and remanent magnetization on the bricks and tiles (Table 1) also show clear correlations between the colour, the degree of reduction, and the heating history of the baked clays involved. This leads to simple rules and estimates of the maximum magnetic anomaly which may be expected over ancient remnants and structures of baked clays.

It is concluded, that:

groups of unreduced modern bricks will typically cause only minor magnetic anomalies of the order of  $\pm 10$  gamma (nannoTesla),

the magnetization and hence the magnetic anomaly increase with the degree of reduction of the baked clays and are a strong function of the temperature attained,

because of wasters and other scattered fragments, the magnetic background noise will be higher than usual at and around old production sites.

wasters are usually more strongly magnetic than "acceptable" products,

glazed tiles are usually somewhat less magnetic than unglazed ones, and

undisturbed baked clays cause stronger magnetic anomalies than disturbed structures because of the randomization of the remanent magnetization.

Magnetic surveying is an excellent archaeometric tool in initial localization and planning of excavation in cases where old structures and materials of baked clays, furnaces and tile production are expected to be present.

Based on rude measurements on scattered initial surface finds and the magnetic anomaly of an area, estimates may be given of the size, structure and material involved, prior to a detailed excavation of the site.

*Niels Abrahamsen*  
Laboratoriet for Geofysik  
Aarhus Universitet

## NOTER

- 1) Abrahamsen, N. & P.W. Readman: Geomagnetic Variations Recorded in Older (23000 B.P.) and Younger Yoldia Clay (1400 OB.P.) at Nørre Lyngby, Denmark. *Geophys. J.R. Astr. Society*, 1980, p. 329-344.
- 2) Borgne, E. Le: Influence du feu sur les propriétés magnetiques du sol et sur celle du schiste et du granite. *Annale de Geophysique* 16, 1955, p. 159-195.
- 3) Larsen, P.A.: Changes in Natural Remanent Magnetization as Evidence of Soil Ripening. *Lab. f. Fysisk Geografi, Geologisk Institut, Aarhus Universitet*, 1980, 27 pp.
- 4) Se f.eks. Abrahamsen, N.: Some Archaeomagnetic Investigations in Denmark. *Prospezioni Archeologiche* 2, 1962, p. 95-97. – Aitken, M.: *Physics and Archaeology*. 291 pp., Oxford U.P. 1974. – Breiner, S.: *Applications Manual for Portable Magnetometers*, 58 pp. 1973.
- 5) Abrahamsen, N.: Arkæomagnetisme og jernalderslagge, *Kuml* 1965, p. 115-132. – Abrahamsen, N.: Palaeomagnetic Methods and Their Application in Archaeomagnetic Dating. *Proceedings of the Nordic Conference on Thermoluminescent Dating and Other Archaeometric Methods*. Risø 1977, p. 153-167. – Abrahamsen, N.: Palæomagnetisk undersøgelse af teglsten fra Ramhule Skov ved Haderslev. *Antikvariske Skrifter* 3, 1979, p. 107-110. – Abrahamsen, N. og P. W. Readman: 1980. – Thellier, E.: Sur la direction du champ magnetique terrestre, en France, durant les deux derniers millénaires. *Physics Earth Planet. Interiors* 24, 1981, p. 89-132. Abrahamsen, N.: *Arkæomagnetisme; Arkæologi og Geofysik, Nationalmuseet* 1984.
- 6) Thellier, E & O. Thellier: Sur l'intensité du champ magnetique terrestre dans le passé historique et géologique. *Annales de Geophysique* 15, 1959, p. 3. – Bucha, V.: Evidence for Changes in the Earth's Magnetic Field Intensity. *Phil. Trans. Roy. Soc. London A* 269, 1970, p. 47-55. – Svendsen, F.: Intensitetsbestemmelse af palæomagnetfeltet. *Upubliceret speciale, Lab. f. Geofysik, Geologisk Institut, Aarhus Universitet*, 1980, 84 pp. & 6 appendices.
- 7) Abrahamsen, N.: Magnetic experiments on reconstructed kilns. *Proceedings Second Nordic Conf. on the Applications of Scientific methods in Archaeology. PACT 1982*. Se også ref. 12.
- 8) Hansen, E.: 1981 (personlig meddelelse).
- 9) Sørensen, M. Aa & B.A. Hansen: *Kunsten under fødderne. Skalk* 1980, 1, p. 9-12.
- 10) Hansen, B.A. & M.Aa. Sørensen: *Bistrup Teglværk. Hikuin* 6, 1980. 48 pp.
- 11) Abrahamsen, N., B.A. Hansen & M. Aa. Sørensen: Palaeomagnetic investigations of 4 medieval kilns from Bistrup near Roskilde, Denmark. *Proceedings Second Nordic Conf. on the Applications of Scientific Methods in Archaeology, PACT 1982*.
- 12) Abrahamsen, N., P.E. Jacobsen & O. Voss: Arkæomagnetisk detektering og kortlægning. *Arkæologi og Geofysik, Nationalmuseet* 1984.
- 13) Vedrørende teglproduktion og teglværkskemi m.m. kan henvises til Fischer-Møller, H.: *Teglværkskemi*, 238 pp. København 1906. – Møller, E.: *Tegl. 800 år i Danmark. Tegl* 8. Udgivet af Teglindustriens Tekniske Tjeneste, 1964. – Schmidt, L.: *Pottemagere. Skalk* 1977, 3. p. 7-11.
- 14) Bibby, A., L. Schmidt & I. Sell: *Optænding. Skalk* 1980 nr. 1, p. 12-15.
- 15) Hansen, Egon, personlig meddelelse 1981.
- 16) Thellier, E. & O. Thellier 1959.
- 17) Fischer-Møller, H.: *Teglværkskemi. København* 1906, 238 pp. – Abrahamsen, N.: *Archaeomagnetic Tilt Correction on Bricks, Archaeometry* 15, 1973, p. 267-274.
- 18) Bibby, A. et al. 1980.
- 19) Se f.eks. Parasnis, D.S.: *Principles of Applied Geophysics*, London 1979, 275 pp. – Aitken, M. 1974. – Breiner, S. 1973. Dobrin, M.B.: *Introduction to geophysical prospecting, McGraw-Hill* 1976.