



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Undersøgelse med georadar i umættede sandaflejringer**

Thorsen, Grete; Andreasen, F.

*Published in:*  
Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet

*Publication date:*  
2000

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Thorsen, G., & Andreasen, F. (2000). Undersøgelse med georadar i umættede sandaflejringer: efterforskning af sagn om tunnel ved nonnekloster. I Rathmayer, H. (Ed.) (red.), Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet: Helsinki, Finland, 5-7 June 2000 (Kapitel Session A3 : Field and In-Situ Measurements, s. 207-215). Helsinki: Building Information Ltd..

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Finnish Geotechnical Society

NGM-2000  
XIII Nordiska Geoteknikermötet  
Helsinki 5.-7. Juni 2000

Hans Rathmayer  
editor



Finnish Geotechnical Society r.y.



NGM – 2000  
XIII Nordiska Geoteknikermötet  
Helsinki 5.–7. Juni 2000

Editor  
Hans Rathmayer

Building Information Ltd  
Helsinki

XIII Nordiska Geoteknikermötet / Helsinki / Juni 5–7. 2000

Editor Hans Rathmayer, [hans.rathmayer@vtt.fi](mailto:hans.rathmayer@vtt.fi)  
VTT – Communities and Infrastructure, Espoo, Finland

© Finnish Geotechnical Society r.y.

ISBN 951-682-600-8

Publisher Building Information Ltd, [www.rakennustieto.fi](http://www.rakennustieto.fi)

Printed by Tammer-Paino Oy Tampere 2000

# Undersøgelse med georadar i umættede sandede aflejringer - efterforskning af sagn om tunnel ved nonnekloster

Grete Thorsen  
*Aalborg Universitet, Aalborg, Denmark*

Frank Andreasen  
*Institut for Geologi og Geoteknik, Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, Denmark*

**ABSTRACT:** Denne artikel beskriver resultater af en undersøgelse med georadar af umættede sandede aflejringer. Formålet med undersøgelsen var at af- eller bekræfte et rygte om, at der skulle findes en underjordisk tunnel fra den tidligere klosterkirke. På baggrund af undersøgelsen med georadar, suppleret med gravninger og borer og simple laboratorieforsøg, kan udtrages følgende generelt anvendelige erfaringer: 1) Det er vanskeligt at tolke reflektorer på radargrammer optaget i fugtige, men umættede sandaflejringer. 2) Ved den foreløbige tolkning blev de mest markante reflektorer tolket som det, vi ledte efter - nemlig en tunnel.

Undersøgelsesresultaterne i form af reflektorer og anomalier på radargrammerne er reproducerbare og i princippet objektive data, derimod er tolkningen i høj grad subjektiv. Hvis ikke den udførte undersøgelse var blevet suppleret med prøvegravninger og borer, ville tolkningen alene på basis af den geofysiske undersøgelse - og et sagn - have været forkert.

## 1 INDLEDNING

Sagn og rygter fortæller om en tunnel fra middelalderen ved Oksholm gods på Øland ved Limfjorden (fig. 1). Godsets hovedbygninger og den tilstødende kirke stammer fra et tidligere nonne-kloster. Øland er i dag landfast med det nordligste Jylland, men var i middelalderen en ø omgivet af et stort lavvandet område. Sagnet fortæller, at tunnelen fra kirken førte til et vanddækket område mod vest. En gammel murer skulle i 1962 have fortalt, at han omkring 1916-18 var nede i en underjordisk gang ved godset (måske fra kirken?). Indgangen blev dengang muret til, og ingen ved i dag, hvor indgangen var. Afstanden fra Oksholm kirke og godset til kystskrænten mod vest er ca. 900 meter.

I forbindelse med et projektarbejde på den teknisk-naturvidenskabelige basisuddannelse på Aalborg Universitet blev der på Øland i foråret 1997 blandt andre geofysiske undersøgelser udført undersøgelser med georadar. De geologiske forhold var egnede til undersøgelse med georadar, hvorfor der var store forventninger til resultaterne.

## 2 GEOLOGI OG TOPOGRAFI

Øland er opbygget af glaciale aflejringer, der for en stor dels vedkommende består af glaciale forstyrrede sandede smeltevandsaflejringer. Undergrunden består af skrivelidende. Eksisterende geologiske kort over de overfladenære aflejringer sammenholdt med boredata indikerer, at de øverste 5-10 meter af jordlagene i det aktuelle område vest for Oksholm kirke bestod af smeltevandssand.

Indtil for ca. hundrede år siden udgjorde Øland en ø i Limfjorden. Det omkringliggende landskab består i dag af lavtliggende flade områder med terræn under kote 2, en del af området er i

dag inddæmmed. Det højeste punkt ligger omkring kote 40. Terrænet ved godset og kirken ligger omkring kote 15 og stiger til kote 35 på marken ca. 400 m vest for kirken.

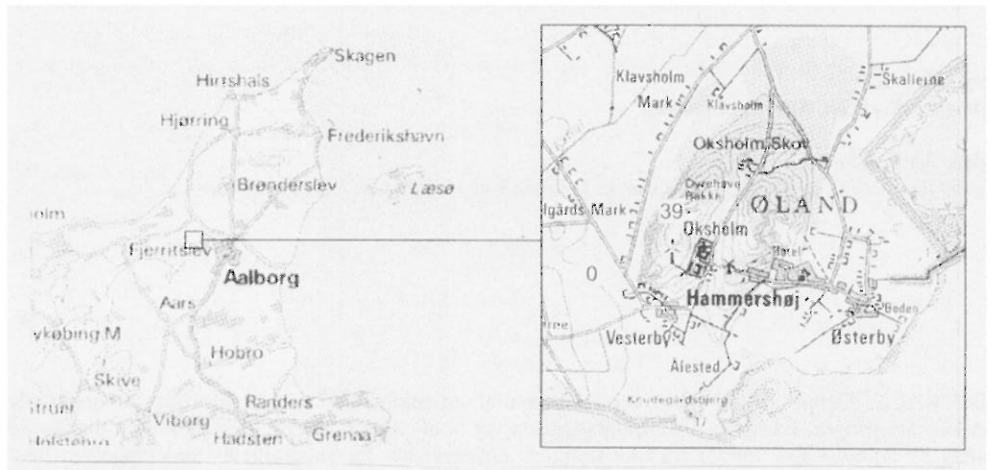


Fig. 1. Nordjylland, Ølands beliggenhed og Øland (Geodætisk Institut 1: 100.000)

### 3 METODEVALG

Vi tog for givet, at en underjordisk tunnel fra middelalderen, som var bygget i løse aflejringer hovedsageligt bestående af sand, måtte være en muret konstruktion. Opgaven var derfor at finde en muret tunnel bestående af teglsten i form af to vægge, et hvælvet loft, et gulv samt et luftfyldt hulrum beliggende i fugtige, ikke vandmættede sandaflejringer.

Tunnelens udgangspunkt var ikke kendt, men vi gik ud fra, at den fra det daværende kloster eller fra kirken - jvf. sagnet - skulle fortsætte mod vest. På grund af usikkerhed om såvel startpunkt som slutpunkt var der tale om, at relativt store arealer skulle undersøges.

I 1990 blev i godsets have ved kirkens vestside udført en endags undersøgelse med geoelektrisk udstyr og magnetometer. Undersøgelsen gav ikke svar på vore spørgsmål.

Flere geofysiske undersøgelsesmetoder herunder elektriske og magnetiske metoder er baseret på måling af gennemsnitsværdier over et stort jordvolumen, de er derfor ikke specielt velegnede til at lokalisere små anomalier i stor dybde under jordoverfladen. Da de geologiske forhold syntes egnede, og da vi havde behov for præcise strukturelle oplysninger, samtidig med at vi kunne risikere at skulle undersøge et meget stort område, var det naturligt at forsøge med georadar.

### 4 GEORADARMETODEN

Ved en undersøgelse med georadar udnyttes, at radiobølger reflekteres fra grænsen mellem lag med forskellig radiobølgehastighed. Ved hjælp af en høj pulsrepetitionsfrekvens, en passende undersøgelseshastighed og passende valg af antenner, er man i stand til, at producere et kontinuert profil, hvor strukturelle detaljer i selv stor dybde vises. Profilet, som repræsenterer et vertikalt snit gennem de øverste jordlag, kaldes et radargram (fig. 3 - 5).

Da georadarmetoden er en hurtig opmålingsmetode, som frembringer kontinuerte profiler med stor horisontal opløsning, er den særlig velegnet til lokalisering af lineære strukturer. Sandsynligheden for at man v.h.j.a. et antal kontinuerte profiler får en genkendelig anomali fra en struktur som en lang tunnel er meget stor.

Det anvendte georadarudstyr er fremstillet af Geophysical Survey Systems Inc., USA, og er af typen SIR 10. Antennerne blev trukket på en slæde efter en Land Rover, og var fra fabrikken angivet at have en centerfrekvens på 300 MHz.

Det er primært forskellen i vandindhold, der er bestemmende for radiobølgehastigheden i forskellige jordarter (Davis & Annan, 1989). I tørt sand er porevolumenet luftfyldt, man har derfor en relativt høj radiobølgehastighed i tørt sand. I modsætning hertil er radiobølgehastigheden lille i vandmættet sand, hvor porerne er vandfyldte. I Danmark findes helt tørt sand kun lejlighedsvis i de øverste få centimeter, man skelner derfor i praksis mellem den umættede zone og den mættede zone. I den mættede zone er radiobølgehastigheden omvendt proportional med porevolumenet, og i sand findes det største porevolumen ofte i de mest grovkornede aflejringer. Samtidig er variationerne relativt små. I den umættede zone forholder det sig modsat, selv små variationer i vandindhold kan medføre store ændringer i radiobølgehastigheden (Parkhomenko, 1967). I den umættede zone vil det største vandindhold ofte være i de mest finkornede sedimenter. Finkornede sedimenter er ofte dårligere sorteret og med et mindre porevolumen.

## 5 UNDERSØGELSESTRATEGI

Undersøgelsen blev koncentreret om en mark 200 - 400 m vest for kirken, en skovsti ca. 150 m vest for kirken, samt en græsplæne ved godset og kirken (fig. 2).

Opmålingerne blev så vidt muligt udført langs linier placeret vinkelret på tunnelens formodede tracé. Der blev planlagt flere undersøgelseslinier med nogenlunde ens afstand. I tilfælde af dårlig penetration eller ringe kontrast nogle steder, var der mulighed for at få gode signaler i en af linierne parallelt hermed. Iøvrigt er det nødvendigt, når man skal identificere og kortlægge en lineær struktur, at man træffer denne flere steder.

Der blev kørt i alt 28 profillinier med georadar. Undersøgelsesområdet er vist på fig. 2, hvor også en del af de kørte profillinier er indtegnet.

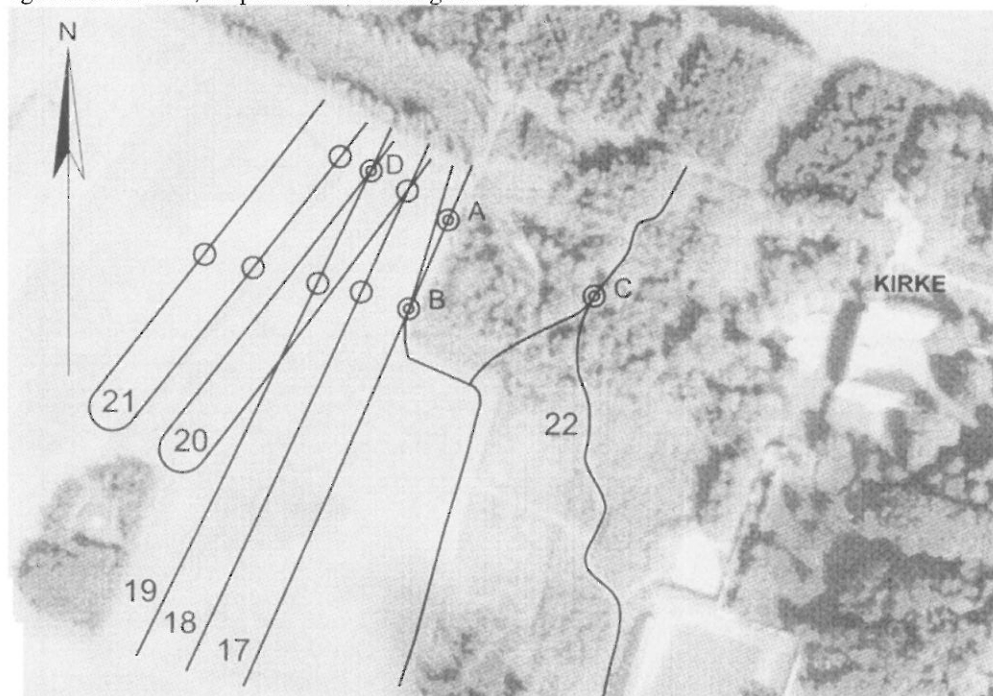


Fig. 2. Luftfoto af undersøgelsesområdet med en del af de udførte georadarlinier indtegnet. (Kopi efter luftfoto 1985). Konstaterede anomalier er vist med en cirkel.



## 6 RESULTATER

Radargrammerne blev undersøgt for afvigelser fra det, der måtte antages at være uforstyrrede naturlige aflejringer. Der blev fundet en del markante anomalier. Anomaliene var meget karakteristiske og passede i flere tilfælde med, hvad vi havde forventet at finde ved passage over en underjordisk tunnel, som beskrevet i indledningen.

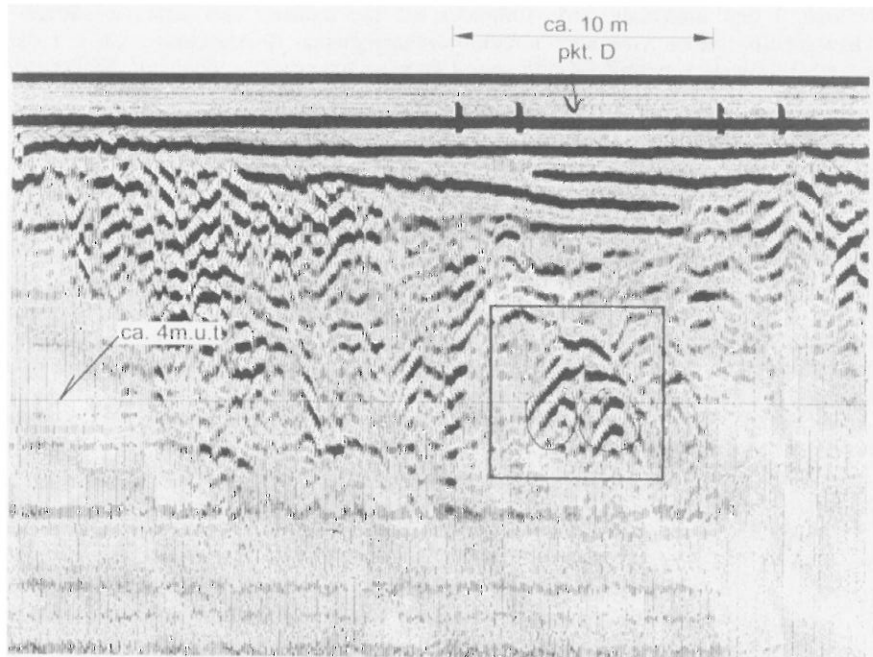


Fig. 3. Udsnit fra profilinje 20 med anomali ved pkt. D.

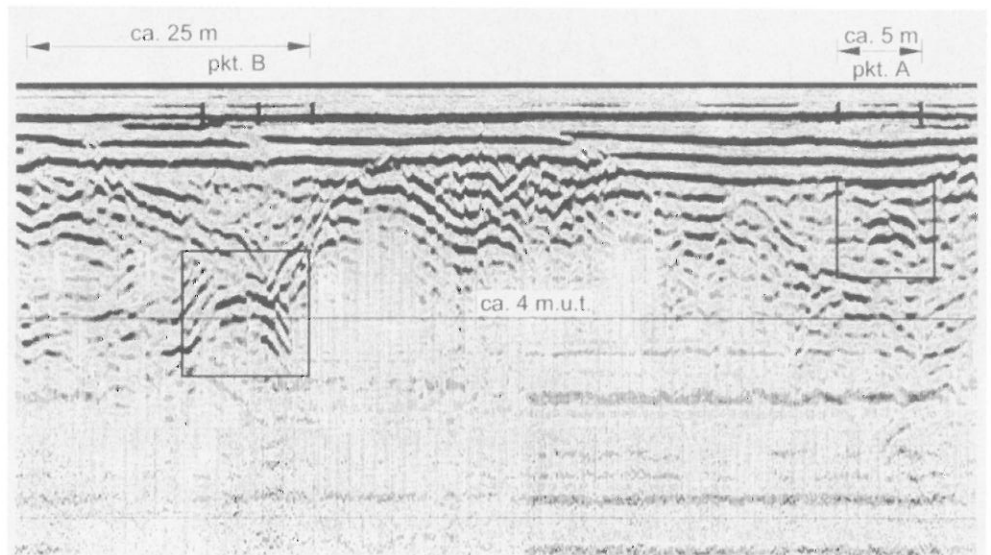


Fig. 4. Udsnit fra profilinje 17 med konstaterede anomalier ved pkt. B og A.

De fundne anomalier kunne ikke alle tolkes som tunnelkonstruktioner. Historien fortæller imidlertid, at der på stedet meget langt tilbage i tiden har været bebyggelse, det gamle Økloster blev stiftet i slutningen af 1100-tallet, men for ganske få år siden blev ved et tilfælde fundet et ældre kapel, Sct. Laurentii kapel, i skovområdet vest for godset. Med disse oplysninger i tankerne syntes det nærliggende at forvente tilstedeværelsen af andre menneskeskabte konstruktioner end en tunnel i området.

Ved analyse af resultaterne fra undersøgelsen blev, på grund af de foreliggende historiske oplysninger, lagt særlig vægt på forekomst af anomalier, som lå på næsten rette linier, jfr. fig. 2.

På fig. 3, 4 og 5 er vist udsnit af profillinie 20, 17 og 22 med de konstaterede anomalier ved pkt D, B, A og C.

Dybdeskalaen på de viste profillinier er en tidsskala. Den virkelige dybde er afhængig af vandindholdet i de aktuelle jordarter. Hvis jordlagene består af delvist vandmættede sand-aflejringer, vil den markerede vandrette linie (80 nano sekunder) svare til ca. 4 m.u.t.

I fig. 5 er den mest karakteristiske anomali (ved pkt. C) gengivet. Bemærk de to brede hyperbler - tolket som henholdsvis top og bund af tunnel - og de to smalle hyperbler - tolket som tunnelens vægge. Hele eller dele af dette mønster kan genfindes i de andre anomalier.

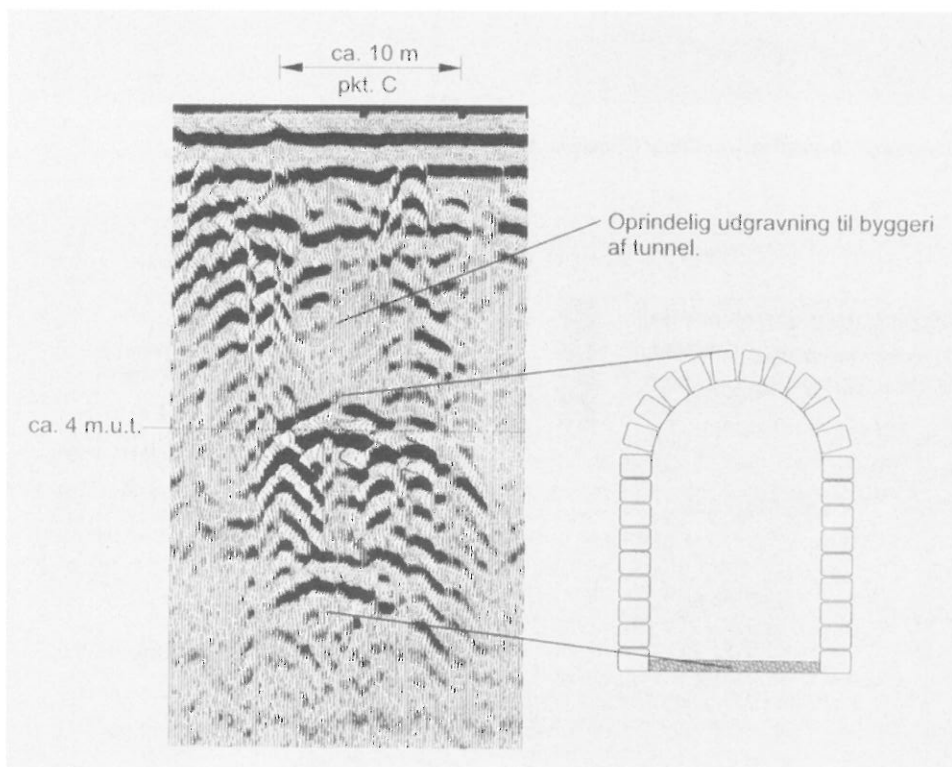


Fig. 5. Udsnit fra profillinie 22 ved pkt. C, samt tolkning af den trufne anomali.

## 7 VERIFICERING AF RESULTATER

I forsøg på at verificere de tolkede resultater udførtes et antal gravninger og boreriger ved nogle af de konstaterede anomalier, der blev udtaget prøver og udført vandindholdsbestemmelser på det

udtagne prøvemateriale. Ved den nordlige anomali på profilinie 17, pkt. A, blev i et par håndboringer og en gravning konstateret forhold som angivet i fig. 6.

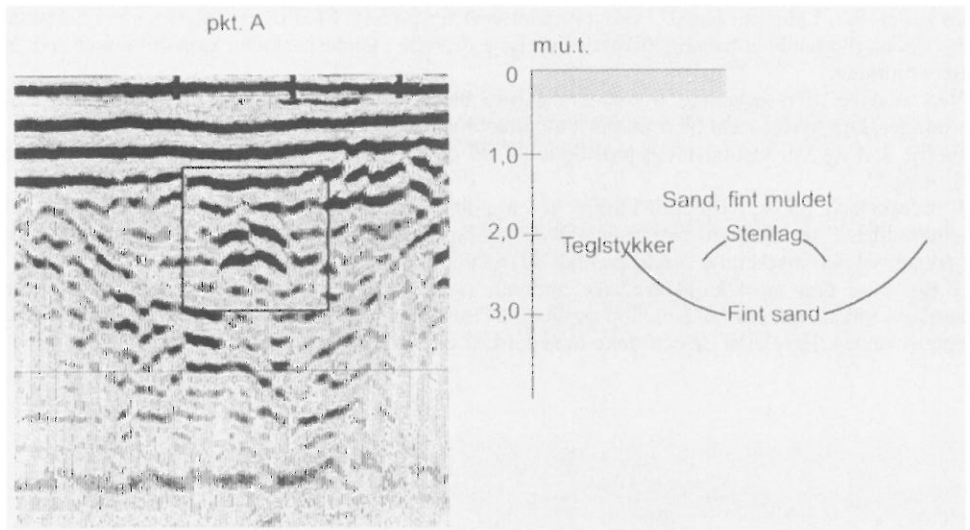


Fig. 6. Nordlige anomali på profilinie 17 ved pkt. A, og resultat af boringer og gravning.

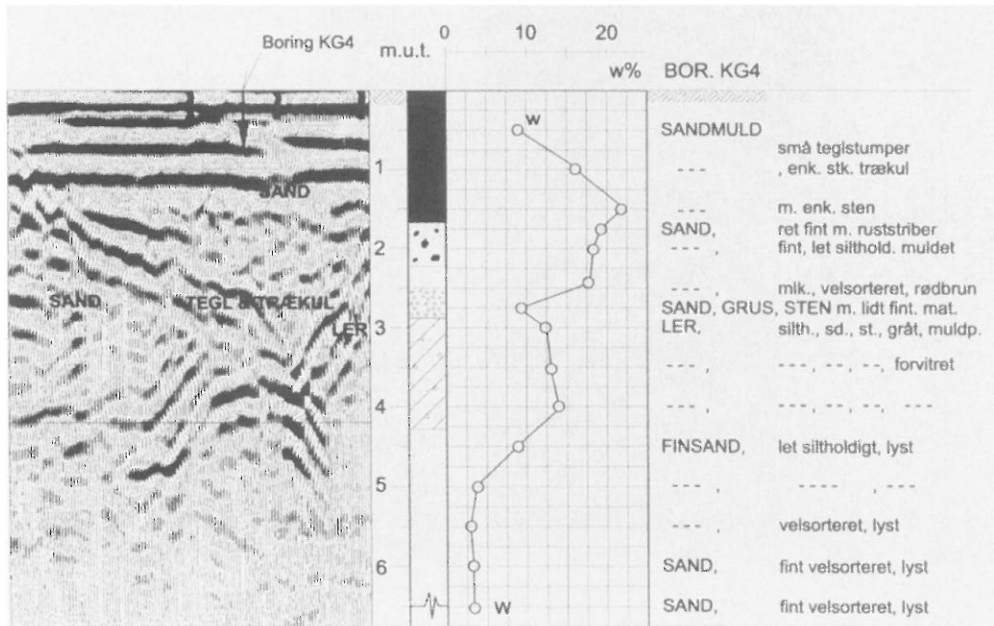


Fig. 7. Sydlige anomali på profilinie 17 ved pkt. B, samt resultater af gravning og boring KG4.

Ved den sydlige anomali på profilinie 17, pkt. B på fig. 4, udførtes først en gravning til ca. 2.5 m.u.t. Der blev truffet muldet sand underlejret af ler, ca. midt på strækningen blev truffet et ca. 15 - 20 cm tykt lag af helt lyst sand indeholdende trækulsrester. Resultatet af gravningen er vist på fig. 7. Det var vanskeligt at komme tilstrækkeligt dybt med gravningen på grund af tilstrømmende vand. Der blev derfor lige vest for gravningen udført en boring, KG4, til 6.5 m.u.t. Placering og resultat af boringen fremgår ligeledes af fig. 7.

Ved den mest karakteristiske anomali på profilinie 22, punkt C på fig. 2, udførtes først en håndboring og en gravning til 4.5 m.u.t. Undersøgelserne viste 3 m muldet sand, derunder lyst sand. Ved 3,5 m.u.t. blev truffet en 5 - 10 cm tyk zone af sand sammenkittet af jernoxider (al-lag), derunder tørt sand til 4 m.u.t. og derunder igen vådt sand. Såvel boring som gravning blev stoppet 4.5 m.u.t. på grund af tilstrømmende vand.

Senere udførtes tre boringer (KG1, KG2 og KG3) lige over anomalien. Boringerne, som blev ført til henholdsvis 8.5, 7 og 4 m.u.t., viste stort set samme forhold. Resultatet af boring KG2 er vist på fig. 8.

Som det ses af fig. 8 var det opborede materiale på det sted, hvor det tomme tunnelrum skulle have været, rent tørt sand. Sandets lagfølgestruktur syntes helt klart at indicere et naturligt aflejningsforløb. "Tunneltaget" var et al-lag og "tunnelgulvet" var et siltholdigt sandlag. Begge disse lag udgjorde en grænse mellem overliggende vandmættet sand og underliggende tørt sand.

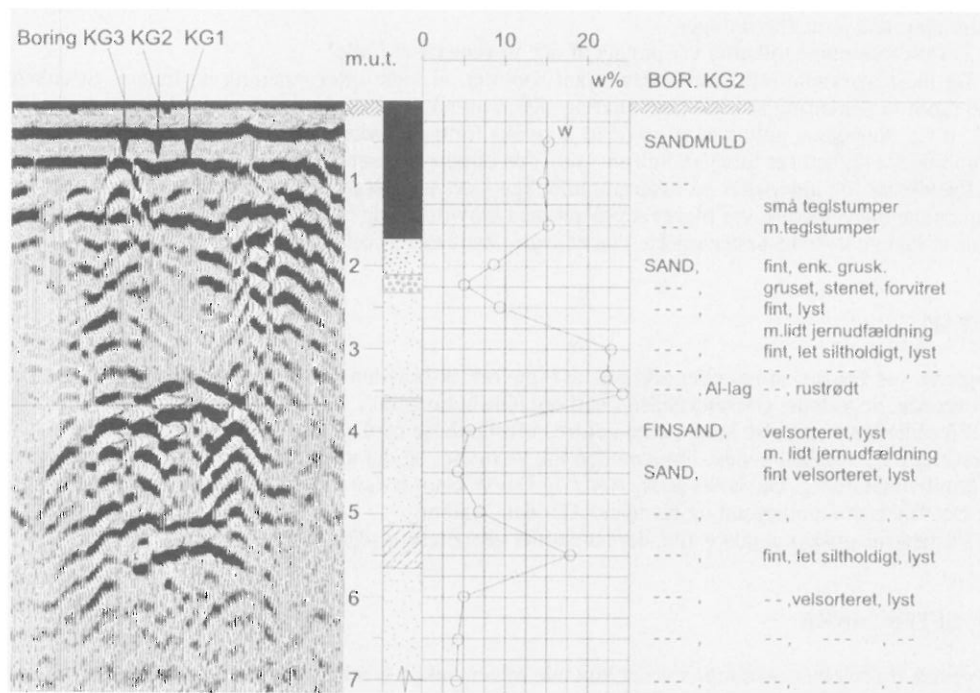


Fig. 8. Anomali på profilinie 22 og resultat af boring KG 2.

## 8 KONKLUSION

Resultatet af en geofysisk undersøgelse kan give anledning til mange mulige tolkninger på basis af et enkelt datasæt. En forudsætning for en succesfuld undersøgelse er, at man som demonstreret her gør sig formålet med undersøgelsen helt klart, og at så mange forhåndsoplysninger som muligt inddrages i tolkningsarbejdet. Men det er vigtigt, at man efterprøver sin tolkning, og at tvivlsspørgsmål m.h.t. tolkningen søges afklaret ved hjælp af andre undersøgelsesmetoder.

På baggrund af den aktuelle undersøgelse har vi draget følgende væsentlige og generelt anvendelige erfaringer:

1) Det er vanskeligt at tolke reflektorerne på radargrammer optaget i fugtige, men umættede, sandede aflejringer!

Det er primært forskelle i vandindhold, der er bestemmende for radiobølgehastigheden, og som derfor giver anledning til refleksion af udsendte radiobølger ved laggrænser. I den vandmættede zone er det største vandindhold i sandaflejringer ofte i velsorterede og grovkornede sedimenter, mens tilsvarende aflejringer i den umættede zone er drænende. Da finkornede sedimenter bremser nedsivning af vand i den umættede zone, får man større kontraster i radiobølgehastigheden og dermed kraftigere og hyppigere reflektorer end i den mættede zone i tilsvarende aflejringer. På grund af de store variationer i vandindhold i den umættede zone bliver beregning af dybden til en reflektor ved anvendelse af standardværdier for radiohastigheden mere usikker, samtidig bliver tolkningen m.h.t. litologi vanskeligere. Prøver fra steder med de mest markante anomalier på radargrammerne viste, at de mest markante reflektorer bestod af vandstandsede lag af finkornede materialer med jernudfældninger.

2) Den foreløbige tolkning var præget af det, vi ventede at finde!

De mest markante reflektorer blev tolket som det, vi ledte efter - nemlig en tunnel. Et enkelt sted fandt vi markering af både tag, bund og sider i en tunnel, vi mente endog, at vi kunne se "pull-up", d.v.s. tunnelens gulv havde en opad konveks form på radargrammet forårsaget af en højere radiobølgehastighed i et luftfyldt hulrum end i den omgivende sandaflejring.

Reflektorer og anomalier på radargrammer kan stort set betragtes som objektive data, men hvis ikke denne undersøgelse var blevet suppleret med gravninger og boreriger, ville tolkningen alene på basis af den geofysiske undersøgelse - og et sagn - have været forkert.

## 9 TAK

Opgaven - at forsøge at be- eller afkræfte et rygte om en eksisterende tunnel - var et stort ønske fra daværende, nu afdøde, godsejer Steen Glarborg, Oksholm gods.

En sådan undersøgelse kunne ikke udføres i forbindelse med et første års studieprojekt på AAU uden støtte fra forskellig side. Foruden den tid, de midler og det udstyr, som blev stillet til rådighed af familien Glarborg, Oksholm gods, AAU og Dansk Geoservice (georadar), har vi modtaget støtte fra Det Obelske Familiefond og Kampsax-Geodan, Aalborg.

Forfatterne ønsker at takke alle, der har støttet gennemførelsen af undersøgelsen.

## 10 EFTERTANKE

På grund af projektets karakter var der kun tale om en enkelt week-end undersøgelse med georadar, hvor de erhvervede data måske blev presset til det yderste. Havde økonomien set anderledes ud, d.v.s. hvis der havde været tale om en egentlig rekvireret opgave til vurdering af eksistensen af en tunnel i området, kunne en mere detaljeret undersøgelse med 3D georadar opmåling, nivellering af profiler etc. have sandsynliggjort, at der ikke var tale om en tunnel. Tolkningen i en teknisk rapport ville iøvrigt have været formuleret mere forsigtigt. En præcis beskrivelse af de bundforhold, som frembragte de konstaterede anomalier på radargrammerne, havde ikke været mulig uden prøvegnavning.

## 11 REFERENCER

- Davis, J.L. & Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 1989, 37, p. 531-551.
- Parkhomenko, E. I., 1967. Electrical properties of rocks. *Plenum Press. New York 1967.*

