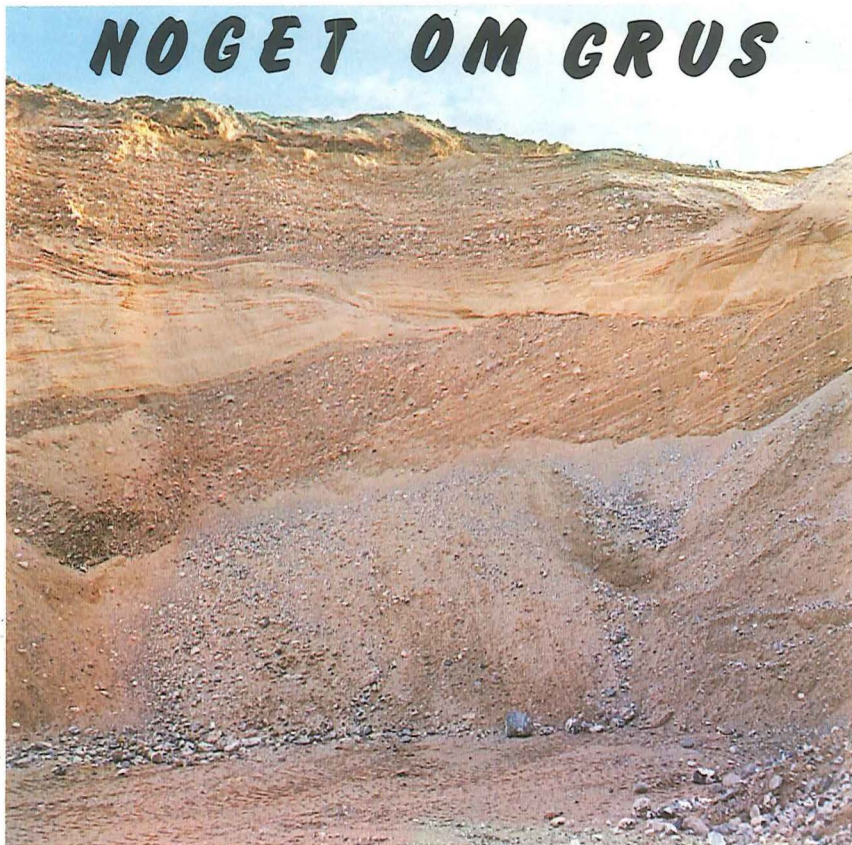


NOGET OM GRUS



af P.Falkesgård og Kurt Klitten.

De tider er ved at være forbi, hvor man i nærmeste bakke henter det grus og sand, man skal bruge til veje, beton og byggepladser. Dels er nærmeste bakke ofte tømt, og dels er det af miljømæssige og planlægningsmæssige årsager ved lov bestemt, at man ikke længere blot skal kunne give sig i lag med at grave i en forekomst. En tilladelse til udnyttelse kan blandt andet afhænge af en dokumenteret påvisning af forekomstens størrelse og kvalitet.

For at finde de efterhånden sparsomme grusforekomster, må man gå til værks næsten på samme måde, som når der ledes efter olie - i hvert fald i det små.

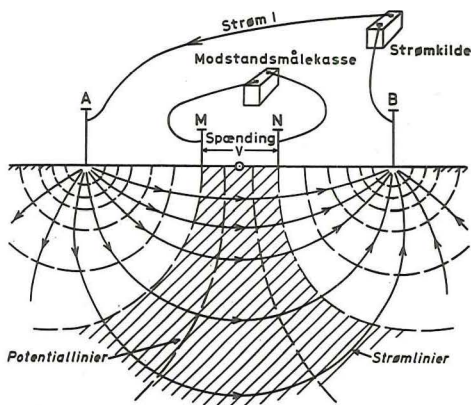
I artiklen "Noget om grus" i Varv nr. 3 1973 fik vi opremset nogle af forudsætningerne for med succes at søge grus: 1) kendskab til allerede foretagne borer og undersøgelser i interesseområdet, 2) kendskab til den geologiske egnsbeskrivelse og -kortlægning og 3) fornemmelse af landskabets udviklingshistorie ud fra dets former.

HVAD ER GEOELEKTRIK ?

Blandt en hel række geofysiske undersøgelsesmetoder, hvoraf seismik vel er den bedst kendte, finder vi den geoelektriske metode. Metoden er baseret på en undersøgelse af jordens specifikke elektriske modstand, som for forskellige jordarter varierer over en bred skala, se nedenstående tabel:

Jordart	Specifik modstand	(ohm-meter)
Ferskvandstørn, -dynd, -gytje og ler	10 - 30	
Marint dynd, gytje og ler (postglaciale)	1 - 10	
Moræner	40 - 80	
Tertiært, fedt ler	1 - 10	
Yngre, Tertiært ler (glimmerler)	10 - 40	
Sand og grus under grundvandspejl	50 - 300	
Sand og grus over grundvandspejl	100 - 2000	
Kalk og kridt (uden saltvand)	100 - 500	

I stedet for at gå ud i terrænet og hente jordprøver hjem til laboratoriebestemmelse af modstanden, bevæger man sig ud i marken med måleudstyret, som i princippet består af en strømkilde, en modstandsmålekasse og nogle ledninger med elektroder. Strømkilden kan være en serie almindelige elementer, som dem man benytter i en transistorradio, eller man kan bruge en let nikkel-cadmium akkumulator. Modstandsmålekassen indeholder blandt andet nogle meget nøjagtige modstande, som efter behov kan indskydes i det elektriske kredsløb. Ideen er, at man i et erstatningskredsløb indskyder en lige så stor samlet modstand som den modstand, man forsøger at måle og - ja, så kender man jo straks ved sam-



Figur 1. Måleopstilling - det skraverede jordvolumens ohmske modstand måles.

menligningen størrelsen af den ukendte ohmske modstand - i dette tilfælde i et vist jordvolumen mellem nogle elektroder. Elektroderne, som man normalt anvender i et antal af fire, er blot nogle stålpløkke med håndtag. Elektroderne placeres på linie og stikkes cirka 10 cm ned i jorden. Figur 1 viser en skitse af målearrangementet. Strømkilden forbindes til de to yderste elektroder (strømelektroderne A og B), modstandsmålekassen kobles til de to inderste elektroder (måleelektroderne M og N).

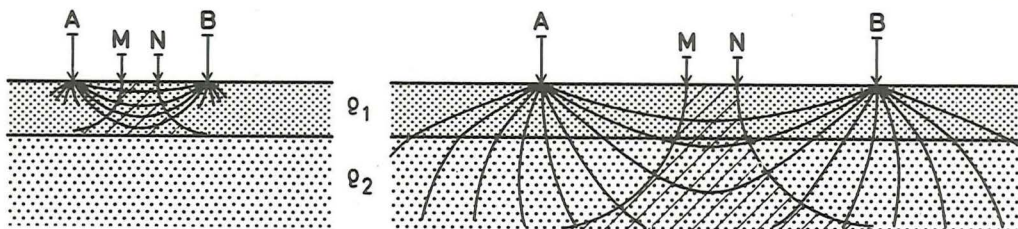
Ved målingen bestemmes den ohmske modstand R i jordmassen (skra-veret på figur 1) mellem de to inderste elektroder, og modstanden er lig spændingen V mellem de inderste elektroder divideret med strømstyrken I i det etablerede kredsløb gennem jorden, jævnfør den klassiske "Ohms lov": $R = V : I$. Den ohmske modstand må omregnes til specifik modstand for at kunne oversættes (tolkes) til information om jordartstype. Omregningen sker ved multiplikation med en faktor K , der kun er afhængig af måleopstillingens geometri, det vil sige afstandene mellem elektroderne. Den opnåede specifikke modstand er imidlertid kun en "tilsyneladende specifik modstand", idet der jo oftest er tale om en lagfølge af flere jordarterstyper.

HVORDAN BRUGES GEOELEKTRIK ?

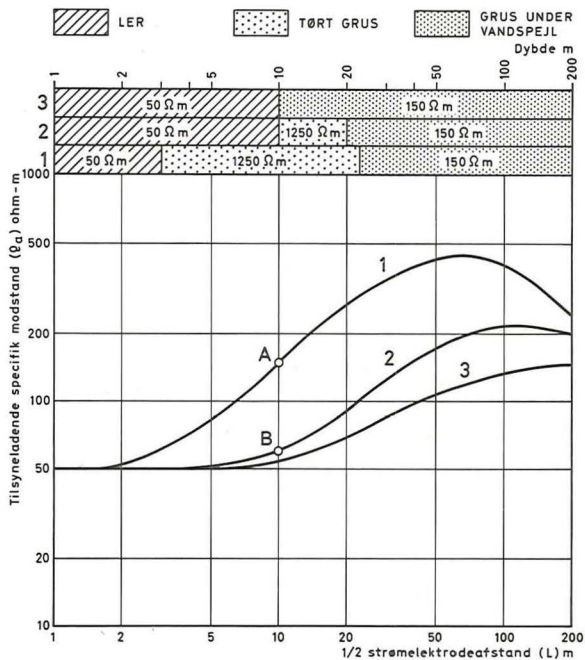
Man anvender målearrangementet med de fire elektroder på to principielt forskellige måder, nemlig til punktprofilmåling - også kaldet el-sondering, og til linieprofilmåling.

PUNKTPROFILET

Punktprofilmåling er en geoelektrisk dybdesondering, hvor den lodrette variation i specifik modstand bestemmes. Det sker ved at man ud fra et fast målested foretager en serie af målinger, idet man trinvis flytter strømelektroderne ud i stadig større afstande. Herved tvinges den elektriske strøm dybere ned i jordlagene (se figur 2), og rækken af modstandsmålinger repræsenterer således den "tilsyneladende specifikke modstand" af et stadig større og dybere jordvolumen.



Figur 2. Stigende måleddybde med større elektrodeafstand.

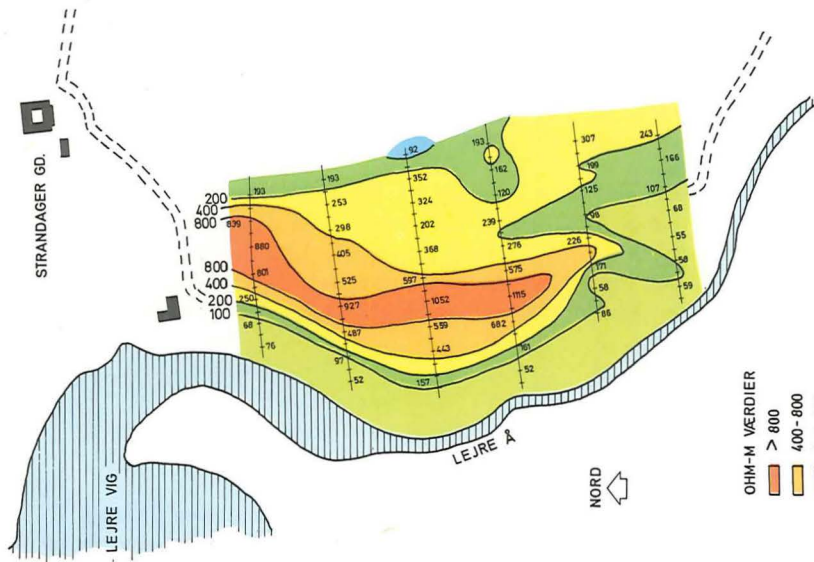


Figur 3. Typiske punktprofil- eller dybdesonderingskurver fra gruskortlægninger.

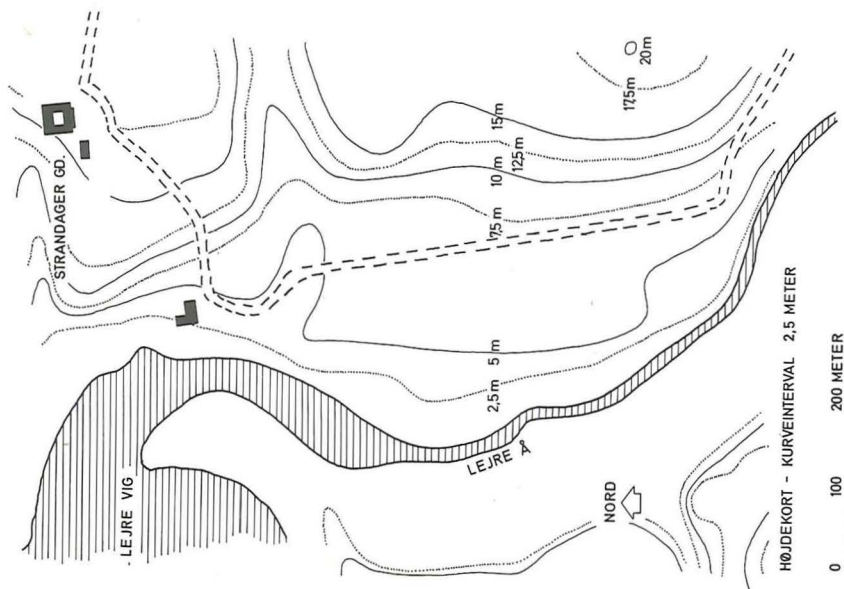
Resultaterne af en punktprofilmåling illustreres ved en såkaldt punktprofilkurve, det vil sige en dobbeltlogaritmisk afbildning af de målte specifikke modstande i forhold til de anvendte strømelektrodeafstande (se figur 3). En sådan "elektrisk dybdesonderingskurve" afspejler den virkelige specifikke modstands variation med dybden, og dermed den eventuelle jordartsvariation.

En kvantitativ udtolkning af karakteristiske laggrænser og jordarter typer ud fra punktprofilkurven er mulig, og sker i praksis ved sammenligning med teoretisk beregnede modelkurver. Tolkingsproceduren kan imidlertid være ret kompliceret og vil ikke blive beskrevet her.

En kvalitativ tolkning af punktprofilkurverne er ofte - og netop i forbindelse med grusprospektering - forholdsvis simpel. Opgaven ved de fleste grusprospekteringer er netop at afgøre, om der er tilstrækkelig tykke forekomster af grus til stede over grundvandspejlet, det vil sige lag med meget høj specifik modstand (ofte over 1000 ohm-m). Endvidere at kortlægge tykkelsen af de lag, der eventuelt overlejrer gruslagene (overjord). En sådan overjord har normalt en forholdsvis lav specifik modstand (40-80 ohm-m). Kurve 1 på figur 3 er en typisk "gruskurve", hvor de lave modstande på første del af kurven skyldes overjord af moræneler, mens den stigende del af kurven afspejler indflydelsen af de tørre gruslag med meget høj modstand. Når stagnationen i stigningen og tendensen til falden-



Figur 5b. Isohm-kort efter linieprofilmåling med strøm- og elektrodeafstand AB = 15 m. Der er lokaliseret overflodene, tykke grusforekomster med meget ringe overjordledsikkerhed i et nord-syd gående bælte på plateauet vest for markvejen.



Figur 5a. Højdekort over et geoelektrisk kortlagt terræn.

de modstand på kurve 1 først viser sig ved en elektrodeafstand ($\frac{1}{2}$ strømmelektrodeafstand) på 40-50 m, skyldes det de tørre gruslag, der her har en anselig tykkelse (cirka 20 m). Kurve 2 på figur 3 illustrerer et profil med mere overjord, men mindre tykkelse af de tørre gruslag, hvorimod kurve 3 svarer til et profil med moræneler over vandførende gruslag, altså grus under grundvandspejlet.

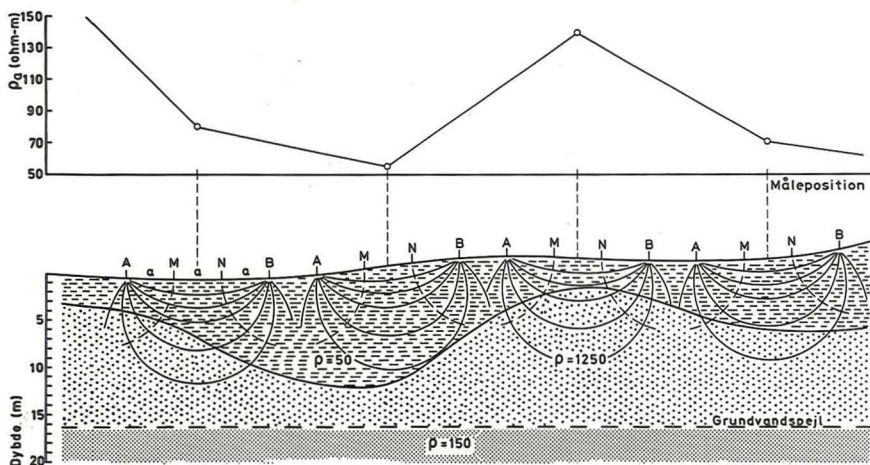
Et punktprofil kan måles i felten på cirka 30 minutter af et målehold på 3 mand (1 måler og 2 elektrodeflyttere). På en normal arbejdsdag kan der således produceres cirka 10 punktprofiler, idet transport fra målested til målested også tager tid. Antallet af nødvendige punktprofiler ved en grusprospektering kan imidlertid begrænses stærkt ved også at anvende linieprofilmåling.

LINIEPROFILET

Ved linieprofilmåling flyttes elektrodearrangementet langs linier i terrænet, og ved hver måleopstilling anvendes hele tiden den samme elektrodeafstand (figur 4). Ved hvert målested bestemmes derved kun een modstandsværdi, svarende til eet punkt på en punktprofilkurve. Ved målested eller måleposition forstås elektrodearrangementets midtpunkt. Af figur 2 ses, at hvis man for eksempel anvender en strømmelektrodeafstand på 20 m ($L = 10$ m), vil modstandsmålinger på målesteder med et tyndt dække af overjord over de tørre gruslag (kurve 1 - punkt A) give højere værdier end på målesteder med mere overjord (kurve 2 - punkt B).

Variationen i den specifikke modstand, bestemt ved een og samme elektrodeafstand, langs linier i et undersøgelsesterræn vil således kunne afspejle den vandrette variation i tykkelsen af dæklaget over eventuelle tørre grusforekomster (se figur 4). Ved gruskortlægning har det i Københavns-egnen vist sig hensigtsmæssigt at anvende en strømmelektrodeafstand på 20 m. Grusforekomster, der ikke ved denne elektrodeafstand afsløres som modstandsmaksima, har med det øjeblikkelige prisniveau normalt ingen økonomisk interesse, idet overjordstykkelsen da vil være over 10 meter.

Af de to målemetoder udføres linieprofilmålingen først, idet man derved får lokaliseret eventuelle grusforekomster. Et kurvekort med linier tegnet gennem punkter med samme modstand (isoohm-m kort)(se figur 5) giver endvidere et indtryk af den relative variation i overjordstykkelsen. Efter linieprofilmålingens afslutning måles nogle punktprofiler, placeret på steder valgt ud fra isoohm-m kortets kurvebillede. I disse enkelte undersøgelsespunkter giver punktprofilerne oplysninger om den absolutte overjordstykkelse samt tykkelsen af de tørre gruslag.



Figur 4. Linieprofilmåling: Den tilsyneladende specifikke modstand ρ_a varierer med tykkelsen af moræneleret, der dækker de tørre grusaflejringer.

Kortlægning af grusforekomster ved hjælp af geoelektrik er en overordentlig billig fremgangsmåde i forhold til metoder som gravning og boring. Det skal imidlertid understreges, at en kvalitetsvurdering i reglen ikke kan foretages ud fra de geoelektriske data, idet modstanden i tørre sandlag ikke er væsentlig forskellig fra tørre gruslags modstand. Heller ikke indholdet af kalk eller flint afspejles eentydigt ved størrelsen af jordlagenes specifikke modstande.

Vil man, efter at have indkredset de bedste områder, kende materialets kvalitet nøjere, kan det kun ske ved at man direkte tager prøver af materialet.