

Råstofgeologi

af Erik Maagaard Jacobsen

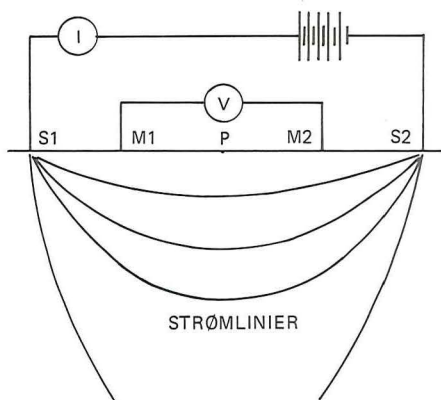
I forbindelse med geologiske og ingeniørgeologiske undersøgelser af større områder inden for det danske Kvartær har den geoelektriske resistivitetsmetode i de senere år vundet indpas mange steder. Da udstyret er ret billigt og driftssikkert, og da store arealer kan undersøges på kort tid, er det velegnet til kortlægning af råstofforekomster, blødbundsområder og lossepladser.

Metoden

Ved den geoelektriske resistivitetsmetode bestemmes jordbundens tilsyneladende specifikke elektriske modstand, resistiviteten, som måles i ohm-meter. Teorien bag metoden er udviklet på baggrund af følgende ideelle forudsætninger:

1. De geologiske lag ligger horisontalt
2. De enkelte lag er homogene
3. Lagene har en uendelig udstrækning i forhold til måleopstillingen

Disse ideelle forudsætninger er kun sjældent opfyldt, men alligevel viser det sig i praksis, at metoden er brugbar, der er en sammenhæng mellem den målte modstand og den geologiske opbygning. De geoelektriske målinger foretages i punkter, der på forhånd er afsat i terrænet. I et givet punkt P - opstillingscentret (se fig. 1) - udføres målingen således: 4 jordspyd, der fungerer som strømforsynings- og måleelektroder, stikkes i jorden langs en ret linie med målepunktet P i midten. Der er samme afstand mellem P og de inderste jordspyd (måleelektroderne), som der er mellem måleelektroderne og de yderste jordspyd, strømmelektroderne. Denne opstilling kaldes også Wenner-opstilling.



Figur 1. Principskitse, der viser forløbet af strømmer i en homogen jordart. Wenner-opstilling.

Man kan også anvende en meget lille afstand mellem de to midterste måleelektroder og en større afstand mellem de to yderste strømelektroder (Schlumberger-opstilling).

I begge opstillingsmåder sendes en lavfrekvent vekselstrøm mellem strømelektroderne (S 1 og S 2), og spændingsforskellen, der er afhængig af den valgte opstillingsmåde, måles mellem måleelektroderne (M 1 og M 2), og omsættes til en tilsyneladende specifik modstand i målepunktet P. Ønskes der således en undersøgelsesdybde på 5 meter, benyttes en indbyrdes afstand mellem elektroderne og målepunktet på 5 meter ved en Wenner-opstilling. Ved en Schlumberger-opstilling bruges 10 meter mellem strømelektroderne, d.v.s. 5 meter mellem strøm- og måleelektroder.

Den målte værdi repræsenterer en gennemsnitlig specifik modstand for de jordlag, der ligger inden for måleområdet, idet dog de øverste jordlag vil have den største indflydelse på resultatet. Ved valg af elektrodeafstand indgår bl.a. faktorer som forhåndskendskab til områdets geologi, hvor dybt det eftersøgte lag forventes at ligge, og hvor detaljerede resultater, man ønsker. Den geoelektriske resistivitetsmetode kan anvendes ved to typer målinger, linieprofil- og punktprofilopmåling.

Linieprofilopmåling

Ved linieprofilundersøgelser udføres en række målinger, hvor opstillingspunktet P flyttes langs en linie. Når det første punkt er målt, flyttes måleopstillingen i liniens retning, og et nyt punkt måles. Afstanden mellem målepunkterne vælges af praktiske hensyn som et helt multiplum af elektrodeafstanden. Er den f. eks. 5 meter i en Wenner-opstilling, vil man ofte vælge 10 eller 15 meter som afstand mellem 2 målepunkter. Anvendes en Schlumberger-opstilling, svarer afstanden mellem målepunkterne ofte til afstanden mellem strømelektroderne. Da elektrodeafstanden er konstant ved en linieprofilundersøgelse gennemmåles samme jordmasse teoretisk ved hver måling. Variationer i måleresultaterne skyldes derfor variationer i de geologiske forhold.

Undersøelsesområdet dækkes af linieprofiler, der systematisk kan lægges parallelt, lægges efter de topografiske forhold, eller lægges efter den forventede geologiske opbygning af området. Hvor tæt linierne skal ligge afhænger af, hvor detaljeret man ønsker resultaterne. Måleresultaterne udtegnes i form af et resistivitetkort, der er et kurvekort, som viser iso-ohm-m kurver for undersøgelsesområdet (fig. 3).

Punktprofilopmåling

Ved en punktprofilopmåling fastholdes opstillingspunktet P, mens strømelektroderne flyttes længere og længere væk for hver ny måling. Herved gennemmåles stadig større jordmasser og dybereliggende lag inddrages gradvis som bidrag-

ydere til måleresultaterne. Ved punktprofilopmålinger fås derved et kvalitativt billede af variationen i jordlagenes specifikke elektriske modstand. Disse data tolkes enten ved hjælp af modelkurver eller ved computerberegninger. Tolknin-gen indeholder mange problemer, bl.a. forudsætter modelkurverne, at der er tale om horisontaltliggende homogene lag, og tynde lag eller lag med ringe modstandskontrast til omgivende lag vil som regel ikke kunne registreres på kurven. Endelig aftager indflydelsen fra et givet lag med dybden.

Erfaringerne fra mange målinger af danske jordarter giver variationsbredden for den enkelte jordarts specifikke modstand (angivet i omh-m):

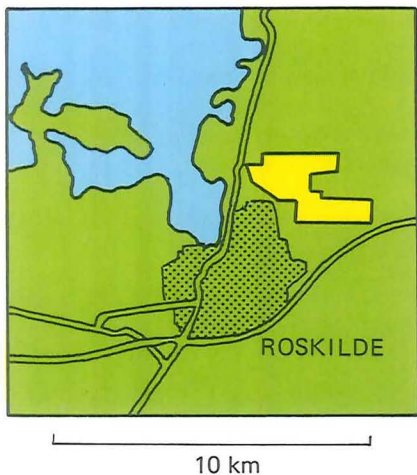
Ferskvandstørv, -gytje og -ler	10 - 35
Saltvandstørv, -gytje og -ler	1 - 15
Moræneler	40 - 80
Morænesand	70 - 100
Tertiært fedt ler	1 - 20
Tertiært glimmerler	10 - 40
Sand og grus over grundvandsspejlet	100 - 10000
Sand og grus under grundvandsspejlet	75 - 500
Kalk og kridt	90 - 500

Råstofundersøgelser

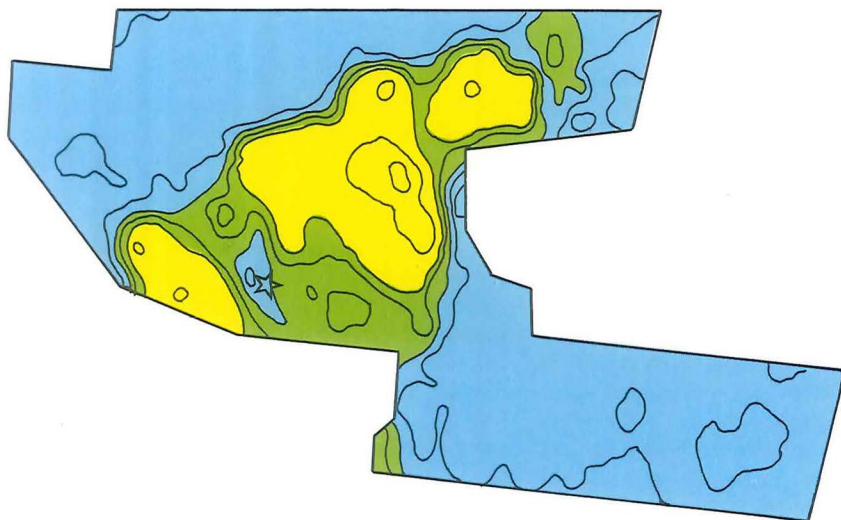
Som et eksempel på anvendelsen af den geoelektriske resistivitetsmetode skal her omtales en kortlægning af råstofforekomster i Hovedstadsregionen. Formålet var at afgrænse en kendt forekomst af sten, grus og sand i et eksisterende grusgravsområde nord for Himmelev ved Roskilde.

Geoelektriske linieprofil- og punktprofilopmålinger indgik som væsentlige elementer i undersøgelsen ved Himmelev. Områdets størrelse er ca. 500 ha, hvilket gjorde, at geoelektriske linieprofilopmålinger var den eneste brugbare metode til at give et overblik over den geologiske opbygning inden for de tidsmæssige og økonomiske afstukne rammer. Området består af en centralt beliggende bakke, der på toppen har en gravhøj, Masterhøj. Bakkens top er ret flad og danner et plateau i en højde på mellem 35 og 45 meter, mens det omgivende landskab er en bølget moræneflade i niveau omkring 20-25 meter.

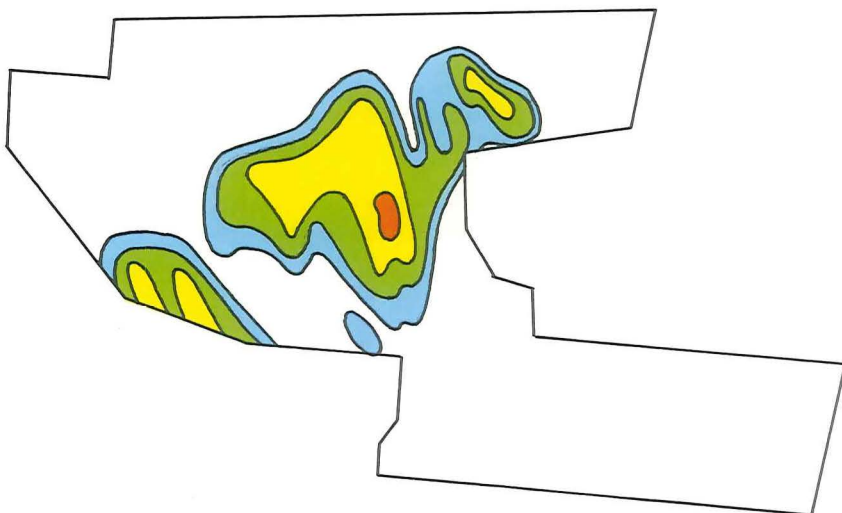
I områdets 3 grusgrave fandtes øverst et dække af moræneler med tykkelse mellem 1,5 - 6 meter liggende over sand og grus. Derfor valgtes en Schlumbergeropstilling med en afstand mellem strømelektroderne på 20 meter til linieprofilopmålingerne. Med denne afstand mellem strømelektroderne skulle den geografiske variation i den målte modstand afspejle variationer i morænelerets tykkelse, når dette er mindre end 10 meter. Generelt vil en udtynding i morænedækkets tykkelse ses som en stigende modstand.



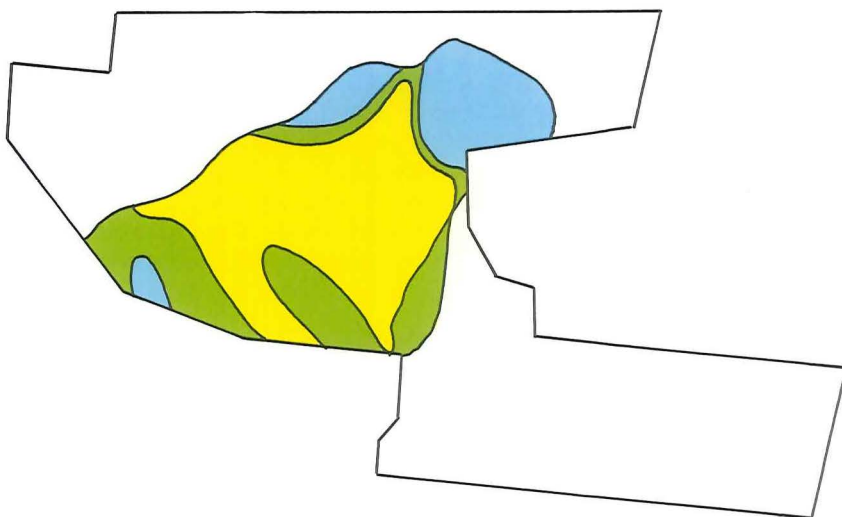
Figur 2. Lokalisering af undersøgelsesområdet (vist med gult) ved Himmelev nord for Roskilde.



Figur 3. Iso ohm-m kort over det undersøgte område ved Himmelev. Værdier under 80 ohm-m er vist med blåt, værdier mellem 80-120 ohm-m med grønt og værdier over 120 ohm-m med gult. Masterhøj er vist med en stjerne.



Figur 4. Tykkelse af overjord fundet på grundlag af geo-el målinger. Den røde farve viser indtil 2 m overjord, den gule indtil 4 m, den grønne indtil 6 m og den blå indtil 8 m.



Figur 5. Tykkelse af råstoflegemet fundet ved geo-el målinger. Den gule farve viser mere end 12 m råstof, den grønne 10-12 m og den blå 8-10 m.

Området blev dækket med 21 linier med geoelektriske opmålinger. Den samlede profillængde er 31,5 km, og resultatet af opmålingen er vist som et kurvekort med iso-ohm-m kurver for måleområdet (fig. 3).

På selve den centrale plateauagtige bakke varierer de målte modstande generelt mellem 100 og 380 ohm-m. Værdierne er tolket som 2-8 meter moræneler over sand- og gruslagene. På den nord og nordvestlige del af bakken er de målte værdier imidlertid mindre end 80 ohm-m, og det kan tolkes som et morænedække, der er tykkere end 10 meter. Samtidig ses også et nord-syd-gående område ved kæmpehøjen Masterhøj, hvor de målte værdier er under 80 ohm-m. Det formodes, at der her også er tale om et morænedække på mere end 10 meters tykkelse, og da retningen af dette område synes at være parallel med orienteringen af maksima og minima inden for højmodstandsområdet på selve bakken, kan det forklares som udtryk for længderetningen af istryksdannede strukturer i toppen af gruslagene.

Sonderinger

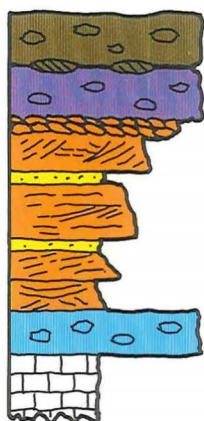
Ud fra iso-ohm-m kortets maksima og minima og kendte geologiske data udvalgte 11 steder til geoelektriske sonderinger. Formålet var at måle morænedækkets tykkelse og råstoflegemets tykkelse i højmodstandsområdet og at oplyse om eventuel tilstedeværelse af dybereliggende sand- og gruslag i lavmodstandsområdet. Til sonderingerne anvendtes Schlumberger-opstilling. Resultaterne viste 2-7 meter overjord med en specifik modstand på 52-65 ohm-m, hvilket formodentlig er moræneler. Herunder optræder 7-20 meter tykke legemer med en specifik modstand på 400-900 ohm-m, hvilket kan tolkes som sand- og gruslag (fig. 4).

I lavmodstandsområdet viste sonderingerne 11-25 meter tykke lag med modstande på mellem 53 og 70 ohm-m, hvilket nok er moræneler. Herunder, muligvis adskilt ved et tyndere sandlag, findes tertiært kalk og grønsandskalk. Det betyder, at der ikke findes sand og grus på de nord og nordvestvendte skråninger. Endelig blev der udført 2 borer, der skulle støtte tolkningen af sonderingerne. De viste en god overensstemmelse med tolkningen af sonderingerne.

Den geologiske historie

Ud fra de geofysiske målinger og de geologiske observationer i de eksisterende grusgrave har det været muligt, at rekonstruere den geologiske historie for Himmelev bakken. Underlaget, som bakken hviler på, er kalkaflejringer, og herover følger en blågrå, fed moræneler. Denne morænelers alder kendes ikke nøjagtigt, men senere undersøgelser af indholdet af omlejrrede foraminiferer i morænen antyder, at en Saale-alder er sandsynlig, det vil sige fra næstsidste istid.

Over den blågrå moræne ligger sand- og gruslag, der har fået betegnelsen 'Himmelev formationen'. Den bliver mere og mere gruset opad og afsluttes med et



Moræne afsat af is fra SØ
 Niveau for deformationer fra en is fra ØNØ
 Moræne afsat af en is fra NØ

'Himmelev formationen', smeltevandsgrus og -sand
 aflejret af vand, som strømede fra nord mod syd.

Gråblå moræne fra næstsidste istid

Tertiær kalksten

Figur 6. Skematisk lagsøjle fra Himmelev området.

bloklag, men kan dog efter nærmere studier opdeles i en række enheder, der hver for sig viser en aftagen i kornstørrelse opad, inden for den enkelte enhed. Samtidig med, at de enkelte enheder bliver grovere og grovere opad, er der også en tendens til, at kornstørrelsen inden for den enkelte enhed generelt vokser mod nord. Lagene ligger for det meste vandret, og stenene i de enkelte lag ligger tit som tagsten, hvilende på hinanden, hvilket viser, at smeltevandsstrømmen, som afsatte lagene, strømede fra nord mod syd i et flodsystem i en afsmeltende is.

Smeltevandets strømretning og stenindholdets sammensætning i de afsatte lag tyder på, at sand- og gruslagene er dannet i forbindelse med afsmeltningen af en 'norsk is', hvorefter der er en del spor i Nordsjælland. Over sand- og gruslagene findes stedvis en sandet moræneler. De aflange stens retning i denne moræne viser, at morænen formodentlig er afsat under et gletscherfremstød fra nordøst, og de isfrembragte forstyrrelser i den underliggende 'Himmelev formation' tyder også på en isoverskridelse fra denne retning. Der synes også at være spor efter yngre deformationsstrukturer fra en østlig-østnordøstlig retning både i sand- og gruslagene og i den dækkende moræne. De kan være dannet ved et mindre genfremstød under den generelle bortsmeltning af nordøst-isen.

Øverst i Himmelev området finder man ofte en sandet moræneler, og ikke sjældent er der isskurede sten ved denne morænes underside. Måling af skurestriberetninger på stenene viser, at det sidste isfremstød i området kom fra sydøst.

Efter undersøgelsens afslutning har fortsat gravning i området frembragt nogle nye profiler, og det har vist sig, at råstoflegemets begrænsning mod nord kun ligger få meter fra den grænse, som de geofysiske måleresultater indicerede.