



GEOFYSISK KORTLÆGNING AF GRØNLAND FRA LUFTEN

Leif Thorning og Thorkild Maack Rasmussen

Indledning

Anvendelsen af geofysiske målinger fra fly har rødder tilbage til den anden verdenskrig, hvor metoden blev anvendt til eftersøgning af ubåde. De nuværende anvendelser i Grønland har en mere fredelig, videnskabelig karakter og de flybårne operationer er desuden udviklet til nu at omfatte mange forskellige metoder med mange forskellige anvendelser, alle interessante i Grønland, som er præget af udbredte vanskeligt tilgængelige områder.

Inden for de sidste seks til syv år er der sket en voldsom vækst i antallet af flybårne undersøgelser; dels har GEUS gennemført et stort antal projekter finansieret af den danske stat og især det grønlandske Hjemmestyre, og dels har flere og flere mineselskaber selv gennemført flybårne undersøgelser inden for deres egne koncessionsområder. Resultaterne har været særdeles gode. Selv i klassiske, geologisk velkendte områder med stor international aktivitet

i mange år, har f.eks. de seneste regionale aeromagnetiske målinger afsløret strukturer og sammenhænge, som ikke kan forklares ud fra den eksisterende viden, og som altså peger på en endnu ufuldstændig forståelse af de geologiske forhold.

De første systematiske aeromagnetiske undersøgelser i Grønland blev gennemført af Kryolitselskabet Øresund A/S i sidste halvdel af tresserne. De første offentligt finansierede luftbårne geofysiske undersøgelser blev gennemført i første halvdel af halvfjerdserne. Alene i halvfemserne vil GGU og siden GEUS ved udgangen af 1999 have gennemført flybårne målinger svarende til ca. 480.000 liniekilometer, en afstand svarende til tolv gange rundt om jorden ved ækvator. I det følgende omtales hovedsageligt de offentligt finansierede undersøgelser. Figur 1 viser de opmålinger, der er gennemført i 90'erne.



Parti fra Godthåbsfjorden i Vestgrønland med renskurede, prækambriske bjergarter. Her er det muligt at beskrive de geologiske forhold på grundlag af direkte iagttagelser på jordoverfladen. Fra flyvemaskiner kan man ved hjælp af indirekte målemetoder udføre regionale undersøgelser. Selv i velkendte og velundersøgte områder som på billedet, har det vist sig at resultater af flybårne geofysiske målinger giver mulighed for en bedre forståelse af de regionale geologiske forhold. Resultaterne af undersøgelserne er bl.a. med til at øge mineselskabernes interesse for efterforskningslicenser i de mest lovende områder.



Fig.1 Kort over Grønland der viser de aeromagnetiske (Aeromag) og elektromagnetiske (AEM Greenland) opmålinger gennemført i Grønland 1992 – 1999.



Formål

Det overordnede samfundsmæssige formål med de offentligt finansierede, flybårne geofysiske undersøgelser er at fremme råstofefterforskningen i Grønland. Både mine- og olie-selskaber inddrager i udstrakt grad geofysiske data i deres efterforskning. De har en forventning om, at staten tilvejebringer disse data på samme måde som geologiske kort og geokemiske data, i hvert fald i regional skala. Senere i forløbet vil de ofte selv indsamle flere flybårne data, men da som regel mere detaljeret i mindre områder. Der vil indenfor sådanne begrænsede områder næsten altid være sammenhænge, der kun kan forstås på baggrund af de offentligt finansierede, regionale undersøgelser.

Det videnskabelige formål med den geofysiske kortlægning af Grønland, udført af GEUS og tidligere af GGU, skal ses i sammenhæng med den øvrige geologiske og geokemiske kortlægningsvirksomhed i Grønland. Geofysiske data indeholder information om de geologiske strukturers udbredelse under overfladen og deres forløb under vand eller isdækkede regioner. De flybårne geofysiske

målinger er derfor et vigtigt supplement til den geologiske kortlægning, der oftest er begrænset til observationer af bjergarter tilgængelige på overfladen. Ingen af disse data giver alene hele billedet, men ved integreret fortolkning af samtlige geodata opnås en langt mere komplet forståelse af forholdene. Modeller baseret på geofysiske data vil ofte give et generelt billede af de geologiske strukturer, og direkte korrelation med direkte, egentlige geologiske observationer er væsentlig for en optimal udnyttelse af de geofysiske data. Samspillet mellem den geofysiske og den øvrige geologiske kortlægning illustreres måske bedst gennem den internationalt udbredte anvendelse af geofysiske kort ved planlægning og udførelse af geologiske kortlægningsopgaver. Det er af samme årsag efterforskningsindustrien værdsætter adgangen til alle typer af geodata. Store geologiske strukturer kan være afgørende for det økonomisk geologiske aspekt af et område. De kan imidlertid ofte kun erkendes inden for de geografisk begrænsede koncessionsområder, hvis man har adgang til regionale datasæt, som viser strukturerne forløb over måske hundredvis af kilometer.

Forskellige metoder

Generelt udgør tætheden af geofysiske målinger en vigtig parameter for hvilken geologisk og geofysisk information man kan opnå fra de målte data. I praksis afgøres det af flyvehøjden og afstanden mellem flyvelinier. En afvejning af forskellige faktorer som økonomiske begrænsninger, ønsker om undersøgelse af så stort et areal som muligt og områdets geologiske problemstillinger medfører som regel et kompromis med hensyn til hvor detaljeret målingerne kan udføres. Det modsvares dog af, at data indsamles i et systematisk, kontinuert net uden hensyn til terrænets beskaffenhed.

Planlægningen af flybårne geofysiske undersøgelser omfatter derfor en meget grundig overvejelse af i hvilken sammenhæng de målte data skal og kan anvendes. Det er en almindelig fremgangsmåde i områder som Grønland at indlede med regionalt anlagte målinger, og så efterfølgende gennemføre en mere detaljeret geofysisk kortlægning i mindre, udvalgte områder med en større måletæthed. Ud fra målingerne fremstilles ofte anomalikort, der viser hvor de målte fysiske parametre er anomale eller afvigende i for-

hold til baggrunden. I de tilfælde, hvor der er positive indikationer for økonomisk interessante anomalier, fortsættes undersøgelserne som regel derefter på jorden.

Uanset hvilken metode det drejer sig om, er det en videnskab i sig selv at gennemføre nøjagtige og korrekte målinger af fysiske parametre fra luften. De komponenter i målingerne, som har deres oprindelse i geologiske forhold, er ofte forsvindende små, og det er en teknisk og beregningsmæssigt vanskelig proces ud fra målingerne at producere de nødvendige kort og digitale data, der danner baggrund for den efterfølgende fortolkning. Men bortset fra de specielle betingelser som måling fra fly medfører, adskiller den efterfølgende tolkning sig ikke meget fra de procedurer som anvendes for tilsvarende geofysiske målinger direkte på jorden. Det må dog også understreges, at flybåren geofysik i dag er en højteknologisk disciplin, der kræver adgang til kraftige computere og omfattende software.

Der eksisterer et antal forskellige geofysiske metoder, der lader sig anvende fra fly. De er alle baseret på udnyttelsen af forskelli-

ge petrofysiske egenskaber hos de bjergarter, som danner undergrunden. Disse fysiske egenskaber er et resultat af bjergartens sammensætning og geologiske historie. Tolkning af forskellige geofysiske anomalier går derfor ud på at udnytte og forstå sammenhængen mellem de petrofysiske parametre, den geometriske placering af målepunktet – flyet - i forhold til kilden for anomalien og endelig selve anomalien, så der opnås en bedre forståelse af geologien i overfladen og i dybden.

● *Aeromagnetiske eller flymagnetiske målinger* er en af de mest almindeligt benyttede metoder. Her udnyttes det, at tilstedeværelsen af magnetiske mineraler, hovedsagelig magnetit, i bjergarter under flyet påvirker Jordens naturlige magnetfelt. Magnetfeltet måles af et instrument placeret enten på flyet eller op hængt under flyet, og målingerne korrigeres for påvirkninger fra flyet og for naturligt forekommende tidlige variationer i Jordens magnetfelt. Magnetiske målinger er relativt enkle at fortolke i forhold til andre flybårne metoder. Flyvehøjden har indflydelse på hvilke detaljer målingerne kan registrere, men min-

dre variationer i flyhøjden har kun en begrænset betydning for målingernes kvalitet.

● *Tyngdemålinger fra fly* udnytter at bjergarterne har forskellig vægtfylde og derfor lokalt påvirker Jordens naturlige tyngdefelt i forskellig grad. Målinger af tyngden fra fly sker i specielt stabiliserede gravimetre og stiller store krav til flyets stabilitet i luften og til en nøjagtig bestemmelse af flyets acceleration i tre retninger. Denne type af målinger kan på nuværende tidspunkt ikke betegnes som rutinemæssige, men må siges stadig at være under udvikling. Principperne for tolkning af denne variation i tyngdefeltet er de samme som for tolkning af magnetfeltet, men endnu er opløsningen af tyngdemålingerne langt dårligere.

● *Radiometriske målinger fra fly* afspejler efter passende korrektioner udelukkende fordelingen af radioaktive grundstoffer tæt ved jordoverfladen. Korrelation med geologiske observationer er derfor ofte lettere end ved de øvrige geofysiske metoder, hvor data også indeholder information fra dybere liggende struktu-

rer, som ikke kan ses i overfladen. Målingen sker ved at observere gammastrålingens vekselvirkning med en bestemt type af krystaller. De tre mest almindelige grundstoffer, som kortlægges med radiometriske målinger, er visse isotoper af kalium, uran og thorium. Koncentrationen af disse stoffer bestemmes ved måling af energien af den udsendte gammastråling, og kan sættes i forbindelse med forskellige typer af bjergarter i undergrunden.



Flybårne elektromagnetiske metoder omfatter et antal forskellige metoder, der alle baserer sig på den reaktion (sekundærfeltet), som undergrundens bjergarter udviser på kunstigt skabte elektromagnetiske felter (primærfeltet). Primærfeltet udsendes af spoler på flyet og sekundærfeltet måles af sensorer, der som regel hænger under og efter flyet, se fig. 2. De mest almindelige mineraler som f.eks. kvarts og feldspat er meget dårlige elektriske ledere og vil derfor ikke medvirke til dannelsen af sekundærfelter; de er gennemsigtige for metoden. Mange typer af blandt andet malmmineraler er derimod gode ledere og viser deres tilste-



Fig.2 Et geofysisk målefly i luften over Constable Pynt, Østgrønland, i august 1997 (AEM Greenland 1997). Mange forskellige fly anvendes til flybåren geofysik. Her er det et CASA fly med den elektromagnetiske sender på flyet og to målesonder (små sorte prikker på billedet) hængende i kabler under og efter flyet. Flyet befinder sig i den sædvanlige målehøjde for denne type af opmåling, ca. 120 meter over terrænet, mens de to sonder befinder sig ca. 50 – 60 meter over terrænet.

deværelse gennem dannelsen af sekundærfelter, som kan detekteres fra flyet. Elektromagnetiske metoder er derfor velegnede til direkte malmprospektering ('anomali-jagt'), men bruges i stigende grad også som kortlægningsværktøj. Resultater fra elektromagnetiske målinger præsenteres ofte som kort over den elektriske ledningsevne i den del af jorden som påvirkes af primærfeltet.



Remote sensing er en fælles betegnelse for metoder hvor elektromagnetisk stråling, f.eks. i form af reflekteret og refrakteret lys eller termisk udsendt infrarød stråling, registreres ved hjælp af forskellige former for skanner-instrumenter. Sådanne Landsat TM og SPOT billeder fra satellit har længe været anvendt i forbindelse med geologisk kortlægning og mineralerterforskning. Der eksisterer nu lignende, men endnu mere nøjagtige instrumenter baseret på nyudviklet teknologi til anvendelse fra fly, således f. eks. hyperspektrale målinger, som registrerer væsentligt flere bånd (512) end Landsat satellitterne der kun registrerer 7 bånd. Dermed opnås betydelige forbedringer med hensyn til opløsning og en

langt større sikkerhed i identificeringen af mineraler og bjergarter på jordoverfladen.

Nogle eksempler fra Grønland

I 1998 gennemførtes de sidste to elektromagnetiske undersøgelser i et projekt finansieret af Grønlands Hjemmestyre, nemlig projekt AEM Greenland 1994–1998. I løbet af de fem år blev der gennemført ret detaljerede målinger i seks forskellige regioner af Grønland, med en afstand mellem flyvelinierne på 200 – 400 meter. Alle undersøgelserne producerer en kombination af magnetiske og elektromagnetiske målinger, mens der ét af årene desuden samtidigt blev indsamlet radiometriske og VLF målinger (Very Low Frequency). Dette var muligt, fordi der dette ene år blev anvendt en helikopter som platform for de geofysiske målinger, mens der de øvrige fire år blev brugt fastvingede fly. Formålet var blandt andet at tiltrække mineindustriens interesse, og det lykkedes. For hvert delprojekt svarende til hvert år i denne femårsperiode er nye digitale data og tilhørende geofysiske kort blevet frigivet 1. marts i det efterfølgende år. Figur 3 viser et eksempel på et kort over en

geofysisk parameter, ledningsevnen af undergrunden, indsamlet i 1998 over Washingtonland, Nordgrønland. Industriens interesse for disse data har været stor og frigivelsen af resultater er i mange tilfælde blevet fulgt af nye koncessioner og forøget aktivitet i de undersøgte områder. Selvom aktiviteterne har været rettet mod regioner, hvor prospektering efter malm synes rimelig, har det samtidigt været tilstræbt at opsøge så mange forskellige egne af Grønland som muligt, med forskellig topografi og geologi for derved at demonstrere metodens egnethed i Grønland. De indsamlede digitale data (ca. 73.500 linie kilometer) indgår nu i GEUS videnskabelige database og vil udgøre et værdifuldt datasæt mange år ud i fremtiden. Efterforskningsindustrien har desuden ofte suppleret med mere detaljerede flybårne geofysiske undersøgelser i de nye koncessionsområder.

Sideløbende hermed er der i offentligt regi blevet gennemført regionale magnetiske undersøgelser i Aeromag projekterne. I begyndelsen finansieret af staten og Hjemmestyret i fællesskab, siden kun af Hjemmestyret. I alt ca. 406.500 liniekilometer data



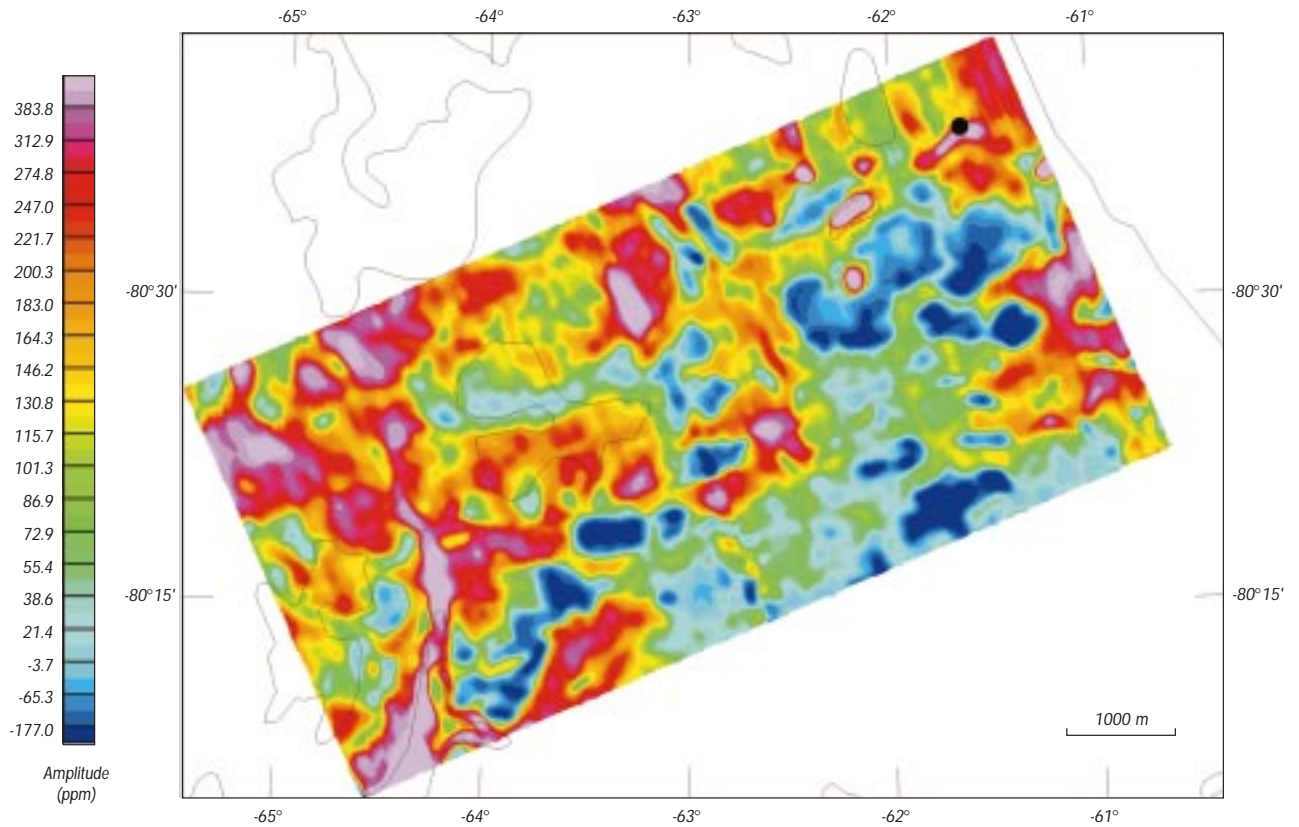


Fig.3 Et anomalikort over undergrundens ledningsevne. Kortet er baseret på data fra projekt AEM Greenland 1998 i Washington Land, Nordgrønland.

vil være indsamlet ved udgangen af 1999, med en indbyrdes afstand mellem flyvelinier på 500 meter, i enkelte områder 1000 meter. Skønt disse opmålinger har haft et andet sigte end de mere detaljerede elektromagnetiske undersøgelser i projekt AEM Greenland 1994 - 1998, nemlig den geofysiske kortlægning af regionale strukturer, er Aeromag projekterne ligeledes blevet fulgt med stor interesse af industrien. De regionale aeromagnetiske målinger indeholder information fra hele jordskorpen. Intrusioner og gangbjergarter giver ofte meget tydelige anomalier, og geologiske grænser og strukturer kan identificeres ved forskelle i anomalimønstrene. Aeromagnetiske målinger er derfor velegnede i forbindelse med regionale tektoniske studier. Dette er

glimrende illustreret i den rigdom af oplysninger, som er til stede i det aeromagnetiske anomalikort fra Godthåbsfjorden, baseret på data indsamlet i projekt Aeromag 1998, vist i Figur 4.

Det forventes at Aeromag undersøgelserne vil fortsætte i år 2000, hvor den sidste del af Vestgrønland vil kunne dækkes, så der vil være opnået kontinuert dækning af det vestlige Grønland fra Kap Farvel til nord for Nuussuaq.

Som noget nyt har GEUS også bestræbelser i gang for at gennemføre hyperspektrale målinger fra fly i år 2000, rettet mod miljømæssige aspekter af mineområder i Grønland, idet GEUS deltager i en fælles projektansøgning til EU sammen med mange andre Geologiske Un-

dersøgelser inden for Euro-GeoSurveys regi. Det er samtidig tanken at forsøge metoden anvendt til påvisning af kimberlitter i Vestgrønland.

Endelig ser det ud til, at der er mulighed for at flybårne geofysiske metoder nu også vil finde anvendelse i Danmark; GEUS er involveret i en vurdering af anvendeligheden af flybårne elektromagnetiske målemetoder i forbindelse med amternes arbejde med zoner i de danske vandindvindingsområder. Hvis det besluttes at anvende metoden i Danmark, vil man også her i luften kunne se hvad der i Grønland af lokalbefolkningen er blevet døbt 'det flyvende tørrestativ'.



Figur 4: Et aeromagnetisk anomalikort over Godthåbsfjorden, Vestgrønland, baseret på data fra projekt Aeromag 1998. Selv uden at forstå de geofysiske enkeltheder illustrerer kortet på overbevisende måde, hvordan især regionale strukturer, men også detaljer i områdets geologiske opbygning, afsløres af de magnetiske anomalier.

