# Seismiske forundersøgelser af Ameralikken ved Nuuk

Geologisk vurdering af havbundens beskaffenhed i relation til etableringen af tunnelforbindelse

Jørgen O. Leth



DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE MILJØMINISTERIET

# Seismiske forundersøgelser af Ameralikken ved Nuuk

Geologisk vurdering af havbundens beskaffenhed i relation til etableringen af tunnelforbindelse

Forundersøgelse udført for Nuuk Tegnestue

Jørgen O. Leth



### Indhold

1.		Introduktion	3
2.		Metoder og udstyr	4
	2.1	Dataindsamling	4
	2.2	Bathymetri	5
	2.3	Sparker	6
	2.4	Side scan sonar	7
	2.5	Navigation	7
	2.5.1	Database	7
3.		Processering og tolkning af data	9
	3.1	Seismiske data	9
	3.1.1	Processering og tolkning af seismikken	9
	3.1.2	Usikkerheder	9
	3.1.3	Digitalisering af laggrænser	10
	3.1.4	Beregning af lagtykkelser	10
	3.1.5	Beskrivelse og tolkning af reflektorer	10
4.		Præsentation af data	12
5.		Referencer	14
6.		Bilagsoversigt	15

## 1. Introduktion

I forbindelse med planerne for Nuuks byudvikling er Nuuk Tegnestue ved Peter Barfoed fremkommet med et forslag om en såkaldt sydløsning. Dette forslag indeholder bl.a. planer om etableringen af en atlantlufthavn og en containerhavn på og i tilknytning til øen Angisunnguaq. Planerne tænkes gennemført via en undersøisk tunnelforbindelse mod nord til Rypeø / Târtúnguaq.



Figur 1. Forslag til udbygning af Nuuk mod syd med indtegning af mulige tunnel tracéer under Ameralikfjorden bund fremført af Nuuk Tegnestue, juli 2004. Udsnit af søkort 1310, 1:50.000 Kort og Matrikelstyrelsen.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) blev i sommeren 2004 anmodet om at gennemføre seismiske opmålinger indenfor det potentielle tunnelområde, for at belyse de tekniske muligheder ved etableringen af en sådan forbindelse. Formålet med undersøgelsen er at bestemme dybden til grundfjeldet samt tykkelsen af sedimenter over grundfjeldet.

## 2. Metoder og udstyr

## 2.1 Dataindsamling

Mobilisering og indsamling af seismiske data foregik i perioden 9 – 16 juli 2004. Fartøjet "Søkongen", der ikke tidligere havde været anvendt som platform for seismisk opmåling, var hyret til opgaven. "Søkongen" blev til- og afrigget i Nuuk havn. Skibet fungerede upåklageligt og vejret i opmålingsperioden var optimalt med vindstyrker under 8 m/s.

Der blev i alt indsamlet ca. 70 km seismiske linier. Opmålingen af området (figur 2) blev gennemført i et krydsende net af sejllinier med en tæthed på 100-150 m, der tager højde for de forskellige krav til anvendelse af tolkningerne i det senere projektforløb. Sejlruternes placering tager endvidere hensyn til de begrænsede og uoplyste vanddybder i dele af undersøgelsesområdet. Af hensyn til tolkningsarbejdet er enkelte af linierne forlænget til større vanddybder med henblik på at kunne forbedre tolkningsmulighederne.



Figur 2. Undersøgelsesområdet dækkende Ameralikfjorden. De opmålte sejllinier *Am-01* til *Am-48* ses angivet med navn. Som baggrundskort er anvendt søkort *Grønland 1331* (Copyright Kort og Matrikelstyrelsen).

Blandt de 48 planlagte linier blev der prioriteret undervejs af hensyn til at opnå den bedste seismiske dækning indenfor den afsatte tid til undersøgelsen. Der blev i alt opmålt langs 33 sejllinier nummereret som det fremgår af bilag 1.

I forbindelse med et GEUS togt til Vestgrønland i september/oktober 2004 opstod der mulighed for at indhente overfladeprøver i Nuuk området til gavn for det aktuelle projekt. Fra forskningsfartøjet DANA hjemtog GEUS' togtdeltager velvilligt 4 grabprøver indenfor undersøgelsesområdet. Positionerne er indtegnet med røde trekanter på bilag 1. Prøverne blev hjembragt til GEUS, hvor der er foretaget en geologisk vurdering af sedimenterne. Om end der er tale om overfladeprøver har resultaterne været nyttiggjort i forbindelse med seismiske tolkninger.

## 2.2 Bathymetri

Planlægningen af havbundsundersøgelserne blev foretaget med søkort *Grønland 1331* som grundlag. Søkortet anvendes under henvisning til Kort og Matrikelstyrelsens ophavsret. Imidlertid er en del af undersøgelsesområdet uden dybdeangivelser, hvorfor en del af det udlagte sejllinie net kun var tentativt. I forbindelse med opmålingen var det således nødvendigt at foretage rekognosceringer for tilstrækkelig vanddybde inden selve opmålingen kunne gennemføres. Dybdedata er opsamlet kontinuert samtidig med de seismiske opmålinger ved hjælp af *Søkongens* FURONO FVC-582-L ekkolod. Dybdedata, kalibreret for ekkoloddets placering 2.0 m under havoverfladen men ikke for tidevand, har dannet grundlag for udarbejdelse af et sammenhængende bathymetrisk kort over området kontureret ved hjælp af programmet *Vertical Mapper* (figur 3 og bilag 2).



Figur 3. Bathymetrisk kort over undersøgelsesområdet kontureret på baggrund af ekkolodsdata indsamlet i forbindelse med projektet. Ækvidistance 5 m. Som baggrundskort er anvendt søkort *Grønland 1331* (copyright Kort og Matrikelstyrelsen).

### 2.3 Sparker

Til opmålingen anvendtes et single channel sparker system af typen GeoSpark 200 fra GeoResources (figur 3). Sparkeren er monteret med 200 tips, en HV (220 V) GeoSpark 1000 Pulsed Power strømforsyning (2500 - 5600 V / 3-4 kVA) med en typisk pulslængde på 50-200 µsec og med et skudinterval på ½ sekund. Sampling frekvensen er 8000 Hz. Med strømforsyningen er det muligt on-line at omskifte mellem output energi niveauer fra 100 – 1000 Joule. Dette har været udnyttet under opmålingen pga. af de store variationer i vanddybden og i dybden til grundfjeldet.

Den anvendte streamer var en Design Project 8 element streamer med en kabellængde på 2,8 m. Data blev opsamlet med TritonElics Seismic dataopsamlingssoftware i TritonElics Delph TRA-format (SEG-Y) på en HP Kayak XU med datalagring på harddisk. Rådata blev udprintet under sejladsen på en printer af typen Alden 9315 CTP. Sparkeren blev trukket 30 meter efter skibet.





Figur 3. GeoSpark 200

Figur 4. EG&G DF-1000 Sidescan sonar

### 2.4 Side scan sonar

Parallelt med den seismiske opmåling blev der foretaget opmåling med side-scan sonar. Der anvendtes en EG&G DF-1000 side-scan fisk (figur 4), der blev trukket 15 m efter opmålingsfartøjet i en fast dybde ca. 5 m over havbunden, dog mindre på de laveste vanddybder. Data blev lagret i ISIS opsamlingssoftware i XTF-format. Pga. de til tider meget bratte ændringer i vanddybden er side-scan range dog varieret mellem 150 og 75 m undervejs og fisken dybde ændret 5 og 1 m.

## 2.5 Navigation

Navigationen var baseret på et SAGITTA-02 Dual Frequency DGPS system. Antennen blev installeret på opmålingsfartøjet og via en receiver koplet op på GEUS`s navigations/survey software NaviPac. NaviPac on-line navigation og data behandlings software gør det muligt at fordele navigations data til flere typer af opmålingsudstyr. I dette tilfælde blev NMEA GPS data distribueret til sparker, side-scan sonar og Chirp, hvorefter det blev lagret sammen med de akustiske data. Opsamlingen af navigationsdata foregik i UTM projektionen, WGS84 (zone 22) og blev lagret i EIVA-format.

### 2.5.1 Database

NaviPac genererer navigationsfiler for hver enkelt surveylinie bestående af skudpunkter med separate positioner for hvert enkelt udstyrstype indmålt i forhold til antennepositionen. Nøjagtigheden af positionen anslås at være inden for 1 m.

Navigationssystemet sikrer således at følgende data bliver lagret:

- Antenne koordinater med offsets og korrektioner (delay, kalibrering, osv.)
- Relative positioner af ekkolod transducere, etc.
- Geodætiske parametre

• Interface definitioner

# 3. Processering og tolkning af data

### 3.1 Seismiske data

### 3.1.1 Processering og tolkning af seismikken

De indsamlede seismiske data er af relativ god kvalitet, med et rimeligt signal/støj forhold. Inden tolkningen er der gennemført efterprocesseringen af data ved hjælp af TritonElics Delph-Seismic systemet. Data er først påført et high/low pass filter i intervallet 400 - 1600 Hz for at filtrere for bl.a. skibsstøj. Til at forstærke det seismiske signal i dybden påførtes derefter en TVG-gain (10 – 65 ms) med et vindue på 0.4 ms. Til slut en tilførtes en horisontal stacking med faktor 4.

Data blev endvidere konverteret fra TritonElics SEG-Y format til standard SEG-Y format, hvilket er en forudsætning for det anvendte PC-baserede tolkningssoftware SonarWeb. SonarWeb programmet genererer HTML og browser kompatible billeder udfra SEG-Y formatet. Tolkningsarbejdet bestående i en manuel digitalisering af laggrænser blev foretaget i SonarWeb programmet on-line. Hver seismiske reflektor består af et antal 3-D punkter (x,y,z koordinater), hvor x og y koordinaterne er de akustiske/sparker koordinaterne i det valgte koordinatsystem, mens z-koordinaten er dybden af reflektoren under vandoverfladen i samme koordinatsystem. Programmet genererer Excel-filer indeholdende x,y,z koordinater for hvert digitaliseringspunkt.

#### 3.1.2 Usikkerheder

Seismisk opløsning relateres til hvor tæt to punkter kan være på hinanden og stadig skelnes imellem. Den horisontale opløsning er tilnærmelsesvis lig den dominerende bølgelængde ( $\lambda$ ). Bølgelængden er givet ved  $\lambda$ =V/*f*, hvor V er hastigheden og *f* er den dominerende frekvens. Den vertikale opløsning er lig 1/4 af bølgelængden (se tabel 1).

Hastighed i materiale	Horisontal opl. (m)	Vertikal opl. (m)
1500 m/s i ukonsolideret sediment	0,75 - 1,88	0,19 - 0,47
2500 m/s i hård konsolideret moræneler	1,25 - 3,13	0,31 - 0,78

**Tabel 1.** Optimal horisontal og vertikal opløsning på Sparker-profilerne. (Se definition på opløsning i teksten).

Forskellige usikkerhedsparametre ved den seismiske metode gør således, at tolkningerne er forbundet med en vis usikkerhed. Tilstedeværelse af 1 - 3 multipler pga. den relative lave vanddybde slører til tider det seismiske reflektioner på en sådan måde at den vertikale opløsning af reflektorerne på seismogrammet i det aktuelle tilfælde ligger i den øvre ende af intervallet for ukonsoliderede sedimenter (tabel 1) dvs. omkring 0,50 m og for konsoliderede sedimenter i praksis mellem ½ og 1 m.

### 3.1.3 Digitalisering af laggrænser

Til dybdekonvertering af de seismiske data er følgende formel anvendt: dybde = (tovejstid x hastighed)/2, hvor hastigheden er sat til 1500m/s både gennem vand og sediment.

Digitaliseringen gennemførtes on-line på PC i SonarWeb browseren med visualisering af de digitaliserede horisonter på skærmen. I alt blev 3 reflektorer digitaliseret, der repræsenterer henholdsvis *havbunden, top-grundfjeld, bund-marint ler.* Pga. den lille forskel i de seismiske egenskaber imellem den øverste del af grundfjeldet og de overliggende moræneaflejringer kan der ikke med rimelighed defineres en entydig *bund-moræne* reflektor. Dog er *bund-marint ler* reflektoren identisk med *top-moræne*, der hvor det marine ler er til stede.

#### 3.1.4 Beregning af lagtykkelser

På grundlag af de digitaliserede reflektorer beregner SonarWeb lagtykkelser ved subtraktion af udvalgte reflektorer. Denne facilitet er benyttet til at beregne *tykkelsen af dæklag over grundfjeld* (havbundsreflektor – top-grundfjeld reflektor) samt *tykkelsen af marint ler* (havbundsreflektor – bund marint ler reflektor). Programmet genererer Excelfiler indeholdende x,y,z koordinater, hvor z angiver tykkelsen af det valgte lag. For hver surveylinie gennemførtes denne beregning ved at udvælge reflektorer parvis, for hvilke der ønskes beregnet en tykkelse. Disse talrige filer er efterfølgende forenet til én datafil i Excel for hver af de to lagtykkelsesberegninger.

#### 3.1.5 Beskrivelse og tolkning af reflektorer

De tolkede reflektorer er defineret som følger:

- R0 = havbundsreflektor
- R1 = bund marint ler/top moræneler
- R2 = top grundfjeld

Havbundsreflektoren R0 udtrykker foruden topografien af havbunden også morfologiske elementer, som ofte kan relateres til den underliggende geologi. Det bathymetriske kort (bilag 2) illustrerer udover vanddybder også topografien.

Reflektor R1 er tolket som bunden af seismiske enheder, der fremtræder med en parallel til sub-parallel intern seismisk signatur og en relativ svag seismisk reflektivitet. Enhederne fremtræder oftest som udfyldninger af kanal- eller bassinformede strukturer. På baggrund af den seismiske signatur tolkes enheden som (glacio-)marint ler af sandsynligvis senglacial alder. Det kan dog ikke på den eksisterende baggrund udelukkes, at enheden repræsenterer smeltevandssedimenter af vekslende sandede og lerede aflejringer.

Reflektor R2 har ofte været vanskelig at fastlægge som en kontinuert reflektor, idet overgangszonen til en overliggende seismisk zone som oftest består af et opbrudt reflektionsmønster af høj-amplitude reflektorer. Reflektoren R2 defineres som undergrænsen af denne opbrudte zone, og/eller som overgrænsen af den underliggende seismiske enhed, hvortil ingen eller kun lidt af den seismiske energi kan trænge ned. Nogle steder ses reflektoren dog veldefineret som en kontinuert høj-amplitude reflektor eller den dukker frem på havbunden. Reflektoren tolkes som overgrænsen af grundfjeldet dels på grundlag af det seismiske reflektionsmønster, dels på grundlag af observationer på side-scan sonar optagelserne, der entydigt kan tolkes til grundfjeld.

## 4. Præsentation af data

Formålet med undersøgelsen er at bestemme dybden til grundfjeldet og tykkelsen af sedimenter over grundfjeldet. Resultaterne er præsenteret som kortbilag bagest i rapporten. Kortene findes endvidere som pdf-filer på vedlagte CD-Rom.

Til konturering af lagflader og lagtykkelser blev kontureringsprogrammet *Vertical Mapper* anvendt på de forenede (x,y,z) datafiler for de digitaliserede reflektorer og de beregnede lagtykkelser.

Punkterne analyseres af *Vertical Mapper* efter et subjektivt valgt af metode. I denne sammenhæng er anvendt "Natural Neighbour" metoden, som kan beskrives således:

"A network of natural neighbourhood regions (Voronoi diagram) is built using the original data set. This creates an area of influence for each data point that is used to assign new values to overlying grid cells."

Når datapunkterne først har gennemgået denne analyse, danner *Vertical Mapper* programmet en Triangular Irregular Network (TIN)-flade. Den efterfølgende 'grid creation process' består i at fordele et netværk af ens-sidede celler henover TIN-fladen. Denne proces, der tager hensyn til de oprindelige værdier og afstanden til nabopunkter, resulterer i en udglattet flade, der passerer igennem alle originale datapunkter. Det matematiske udtryk, der i dette tilfælde er kontrolleret af en lineær løsning, resulterer i en ny grid-flade, der direkte duplikerer TIN-fladen. Afstanden mellem datapunkter og andre dataforhold i det bagvedliggende datasæt forudsættes at være bekendt, for at man undervejs subjektivt kan fastsætte de brugerdefinerede parametre.

De udarbejdede konturkort er præsenteret i bilag 2-5. For bedre at kunne stedfæsteundersøgelsesområderne er hvert konturkort præsenteret med søkort Grønland 1331 som baggrundskort.

## 5. Tolkning af de geologiske forhold

De overordnede bathymetriske og geologiske forhold i Ameralik området kan beskrives udfra de præsenterede konturkort i bilagene 2 - 5.

Bathymetrien (bilag 2) præges af de relative store vanddybder mellem 200 og 260 m i den yderste vestligste del af selve Ameralikfjorden i områdets sydøstlige hjørne. Denne sænkning i havbunden med en nordvest-sydøstlig udstrækning flankeres af stejle skråninger ind mod øerne Pularqavît og Pikiutdleq, mens der mod nordvest i Ameralikkens længderetning ses en jævnt skrånende havbund, der flader ud omkring 100 m vanddybde. En sidearm til sænkningen ses endvidere at skære sig ind sydøst for Pularqavît. Mellem Pikiutdleq og lkâríssat bemærkes en tærskel på havbunden gennemskåret af et relativt snævert løb af mindre end 500 meters bredde og vanddybder mellem 60 og 70 m.

En analyse af den konturerede grundfjeldsoverfalde (bilag 3) giver til dels samme overordnede billede som bathymetrien. Når man sammenholder det bathymetriske kort med grundfjelds-konturkortet ses der således en god korrelation mellem morfologien og dybdeforholdene i området mellem øerne Pularqavît og Pikiutdleq, hvor en sænkning/depression tydeligt træder frem på begge kort. Sedimentdækket over grundfjeldet ses at være begrænset til 10 – 20 m, bortset fra flere markante huller i grundfjeldsoverfladen, der tilsyneladende er fyldt ud med sedimenter. Grundfjeldet ses at ligge ganske tæt på havbunden uden nævneværdig sedimentdække i en omegn af øerne Pularqavît og Pikiutdleq på mellem 500 og 1000 m.

I relation til en eventuel tunnelføring gennem undersøgelsesområdet er tilstedeværelsen af tærskler af speciel interesse. Af konturkortet bilag 3 ses ved Ameralikkens udløb mod vest antydning af en nordøst-sydvest forløbende struktur i grundfjeldet, der danner en op til 70 m høj tærskel. Sedimentdækket i dette område er angiveligvis begrænset til en størrelsesorden på 0-30 m. Det må forventes at en del af disse sedimenter er moræneaflejringer aflejret som endemoræne i forbindelse med isfremstød gennem Ameralikken.

Mellem øerne Ikâríssat og Pikiutdleq kan der ligeledes defineres en tærskel i grundfjeldsoverfalden. Her er der tale om højtliggende grundfjeldsområder, der kan følges direkte til land. Kun i området midt mellem disse øer ses en gennemskæring i størrelsesordnen 30 – 50 m i forhold til den omkringliggende flade. Af bilag 4 fremgår det, at tykkelsen af overlejrende sedimenter i netop denne lavning antager værdier på op til 50 m. Dog tynder sedimentdækket ud til 15 – 35 m i nordøstlig retning, inden tykkelsen igen tiltager til ca. 60 m.

Det overordnede billede af sedimenttykkelsen (bilag 4) viser entydigt de største tykkelser i områdets vestligste del ved Ameralikkens udmunding. Sedimenttykelsen korrelerer tydeligt til tykkelsen af marint lagdelt ler (bilag 5). Det antages at denne enhed netop i dette område består af glaciomarine sedimenter aflejret foran en isfront ved Ameralikkens udmunding.

## 6. Referencer

Palmstrøm, Arild: Forslag til utbygning av Nuuk mot syd. Ingeniørgeologiske vurderinger av grundforholdene.

Humstad, Tore. Geotechnical evaluations of possible road tunnel projects in Nuuk, West Greenland. M.Sc. Thesis, 2003.

## 7. Bilagsoversigt

Bilag 1: Oversigtskort med seismiske linier

Bilag 2: Bathymetrisk kort

Bilag 3: Konturkort over grundfjeldets overflade

Bilag 4: Tykkelseskort af sedimenter over grundfjeldet

Bilag 5: Tykkelseskort over marint ler

Bilagene findes endvidere som Pdf-filer på vedlagte CD-ROM







![](_page_19_Picture_0.jpeg)

![](_page_20_Figure_0.jpeg)