

Seismiske forundersøgelser af havbunden syd for Nuuk

Geologisk vurdering af havbundens beskaffenhed
i relation til etableringen af faste forbindelser

Jørgen O. Leth



Seismiske forundersøgelser af havbunden syd for Nuuk

Geologisk vurdering af havbundens beskaffenhed
i relation til etableringen af faste forbindelser

Forundersøgelse udført for Nuup Kommunea

Jørgen O. Leth

Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Metoder og udstyr	4
2.1	Dataindsamling.....	4
2.2	Bathymetri	6
2.3	Sparker.....	6
2.4	Side scan sonar.....	7
2.5	Chirp.....	7
2.6	Navigation	8
2.6.1	Database	8
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	Præsentation af data	10
3.2	Beskrivelse og tolkning af reflektorer.....	11
4.	Tolkning af de geologiske forhold	12
4.1	Narssaq Løb.....	12
4.2	Hundø / Tårtúnguaq	12
5.	Bilagsoversigt	13

1. Introduktion

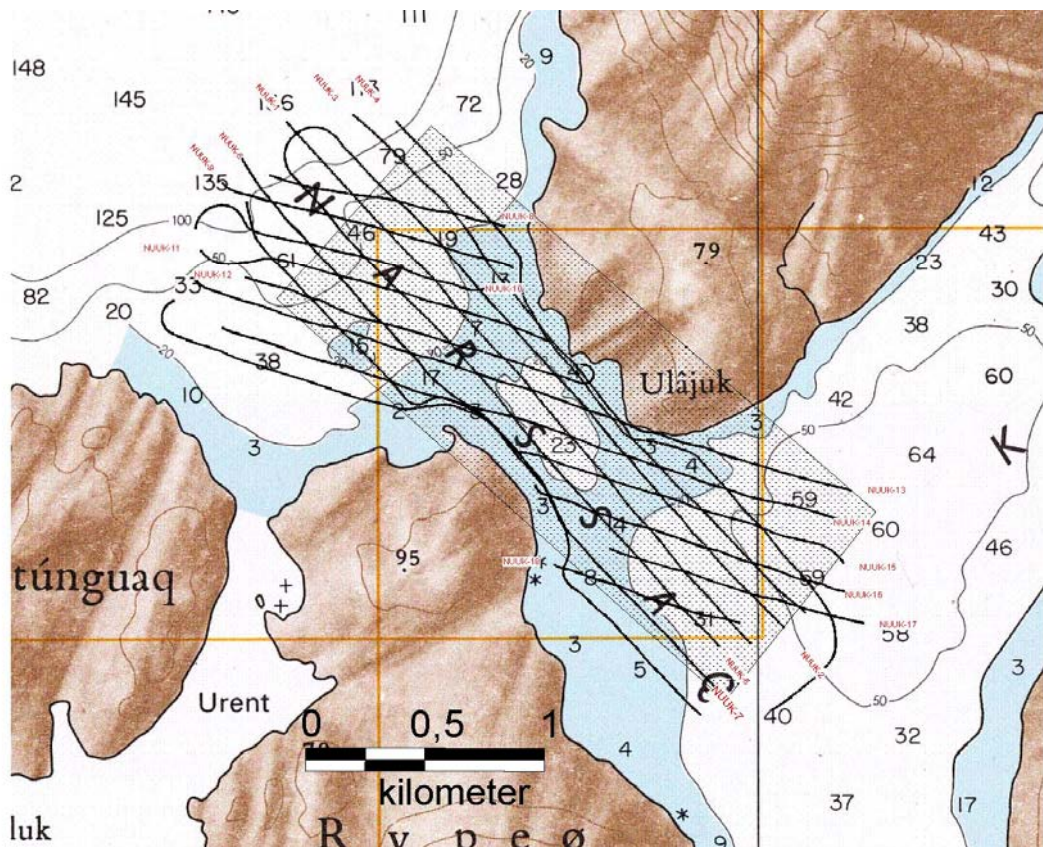
Nuup Kommunea har som en del af den overordnede planlægning ønsket at undersøge mulighederne for at etablere en vejforbindelse fra Nuuk til Rypeø / Tårtúnguaq, med sigte på at anvende disse øer til byudvikling. Vejprojektet planlægges gennemført som en kombination af bro- og tunnelforbindelser. I den forbindelse blev Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) i sommeren 2004 anmodet om at gennemføre seismiske opmålinger i de to delområder, Narssaq Løb samt farvandet mellem øerne Hundeø / Tårtúnguaq og øerne Rypeø / Ikâríssat. Formålet med undersøgelsen er at bestemme dybden til grundfjeldet samt tykkelsen af sedimenter over grundfjeldet.

2. Metoder og udstyr

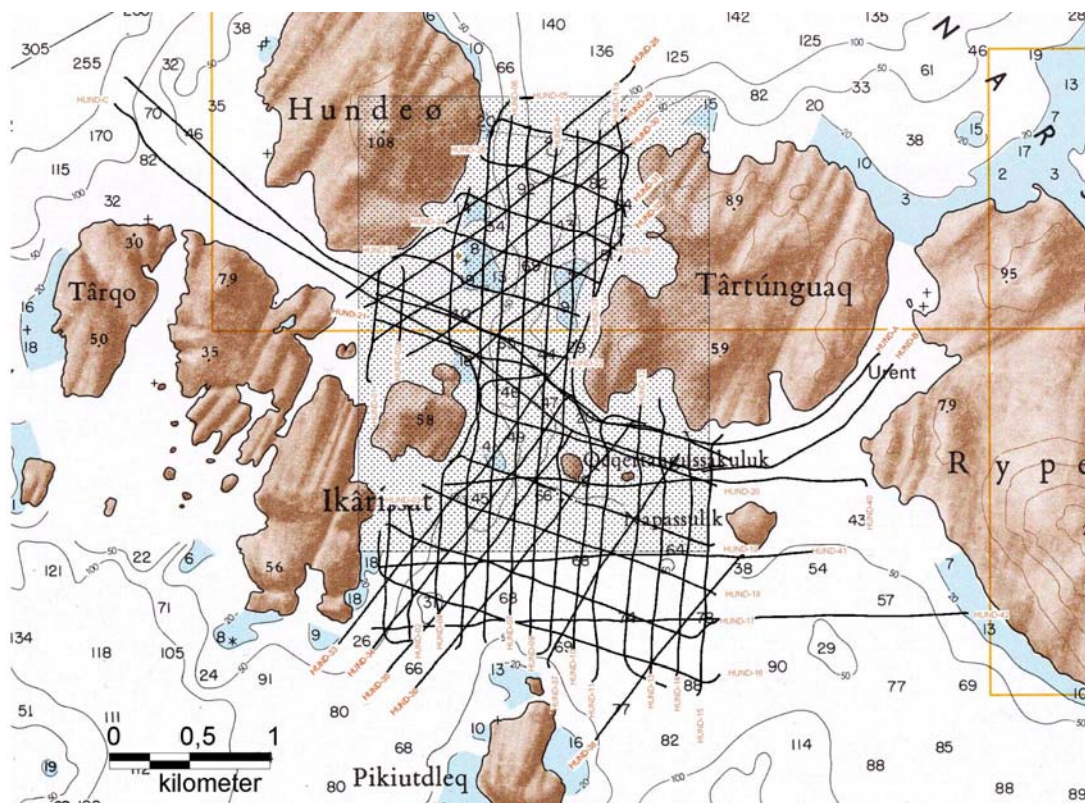
2.1 Dataindsamling

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. 150 km seismiske linier. Opmålingen af de to delområder (figur 1a og 1b) 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 projektførløb. 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 1a. Undersøgelsesområdet Narssaq Løb afgrænset af det stiplede område. De opmålte sejllinier Nuuk-01 til Nuuk-18 ses angivet med navn. Som baggrundskort er anvendt søkort Grønland 1331 (Copyright Kort og Matrikelstyrelsen).



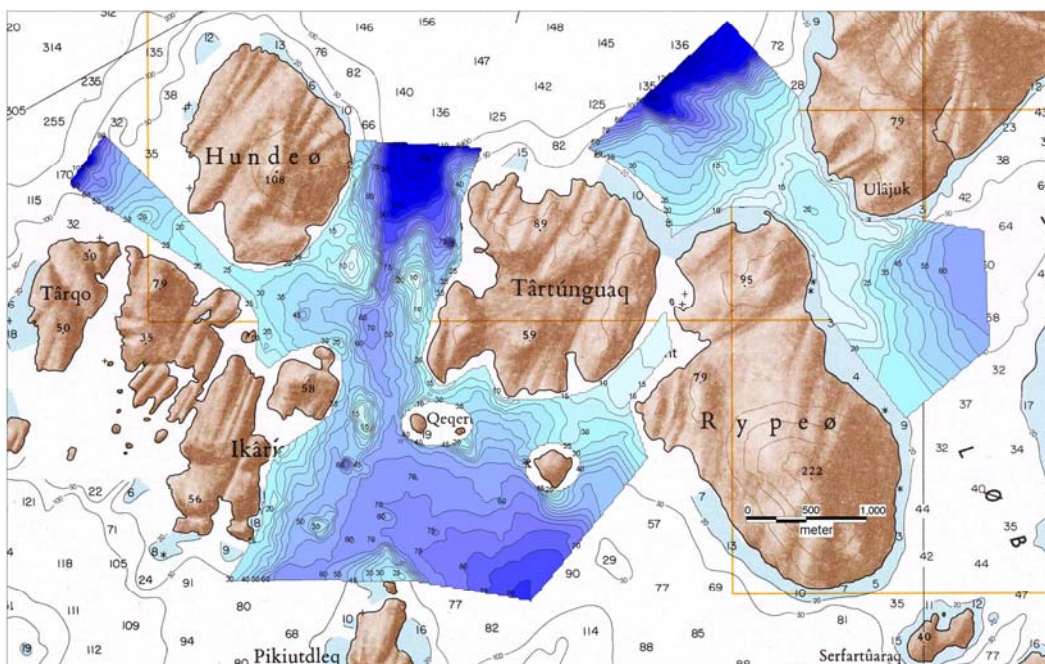
Figur 1b. Undersøgelsesområdet i farvandet mellem Hundø – Rypeø afgrænset af det stiplede område. De opmålte sejllinier *Hund 01* til *Hund 42* samt *Hund A*, *Hund B* og *Hund C* ses angivet med navn. (Søkort GR 1331 Copyright KMS).

Der blev endvidere gennemført orienterende opmåling langs enkelte målelinier i de snævre passager mellem Rypeø / Târtúnguaq hhv. Hundø / Târtúnguaq (sejllinierne *Hund A-C* på figur 1b).

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' togt deltager velvilligt 4 grabprøver indenfor undersøgelsesområdet. Positionerne er indtegnet med røde trekkanter 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 op-havsret. 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 bathyme-trisk kort over området kontureret ved hjælp af programmet *Vertical Mapper* (bilag 2).



Figur 2. Bathymetriske kort over undersøgelsesområdet kontureret på baggrund af ekkolodsdata indsamlet i forbindelse med projektet. Ækvivalens 5 m. Som baggrundskort er anvendt søkort *Grønland 1331* (copyright Kort og Matrikelstyrelsen).

2.3 Sparker

Til den seismiske opmåling anvendtes et single channel sparker system af typen Geo-Spark 200 fra GeoResources (figur 3). Sparkeren er monteret med 200 tips, en HV (220 V) Geo-Spark 1000 Pulsed Power strømforsyning (2500 – 5600 V / 3-4 kVA) med en typisk pulslængde på 50-200 μ sec og med et skudinterval på $\frac{1}{2}$ sekund. Sampling frekvensen er 8000 Hz. Med strømforsyningen er det muligt on-line at omskifte mellem out-put energi



Figur 3. GeoSpark 200



Figur 4. EG&G DF-1000 Sidescan sonar

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.

2.4 Side scan sonar

Parallelt med den seismiske opmåling blev der foretaget opmåling af havbundsforholdene 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 Chirp

Med henblik på at bestemme tykkelsen og typen af dæklaget over grundfjeldet med en større præcision end den der opnås med sparker systemet, blev det forsøgt foretaget havbundsprofilering med Datasonic CAP-6000 chirp systemet (Figur 5) i et delområde. Chirp systemets frekvensområde 1 – 10 kHz giver optimalt en opløsning på 10 – 20 cm og en

penetration på op til 50 m med en skudrate på 0,5 sek. Imidlertid lykkedes det ikke at generere data med den ønskede opløsning pga. havbundens beskaffenhed af højtliggende moræneaflejringer. Derfor blev det besluttet at gennemføre supplerende seismisk profilering med sparker systemet i stedet. Chirp data blev opsamlet i Sonar Wiz software.



Figur 5. Datasonic Chirp CAP-6000 transducer fisk samt computer processeringsmodulet.

2.6 Navigation

Navigationen var baseret på et SAGITTA-02 Dual Frequency DGPS system. Antennen blev installeret på opmålingsfartøjet og via en receiver kopleet 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.

2.6.1 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 er tilføjet 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 ud fra 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 (λ). 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 refleksioner 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 Excel-filer indeholdende x,y,z koordinater, hvor z angiver tykkelsen af det valgte lag.

For hver surveylinje 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 Præsentation af data

Formålet med undersøgelsen er at bestemme dybden til grundfjeldet og tykkelsen af sedimenter over grundfjeldet. Resultaterne præsenteres som konturkort. 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 stedfæste undersøgelsesområderne er hvert konturkort præsenteret med søkort Grønland 1331 som baggrundskort.

3.2 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. Tolkning af de geologiske forhold

4.1 Narssaq Løb

I Narssaq Løb præges topografien af kraftigt hældende skråninger mod nordvest og sydøst. I selve løbets centrale del ses en markant, ovalformet lavning med en dybdeforskel til den omkringliggende havbund i størrelsesordenen 20 m. Denne lavning kan være dannet som et dødis hul fra den Pleistocæne isstrøm med en oprindelse fra den grønlandske indlandsis. Lavningen erkendes også på grundfjeldets topografi som et op til 40 m dyb struktur (bilag 3) i en ellers ensartet flade af højtliggende grundfjeld tæt på havbunden i selve løbet og jævnt skrånende mod nordvest og øst-sydøst. Sammenholder man konturkortene over sedimentfordelingen for Narssaq Løb (bilag 4 og 5a) fremgår det, at lavningen er udfyldt af op til 40 m marint og formodentligt ukonsolideret ler.

4.2 Hundø / Tårtúnguaq

Områdets topografi kan karakteriseres ved en nord-syd forløbende nedskåret kanal centralt mellem øerne med en minimums vanddybde på ca. 50 m (bilag 2). Mod sydøst syd for Tårtúnguaq skråner havbunden jævnt fra 40 til hen ved 100 m dybde. En dyb men snæver indskæring fra nord med dybder op til 80 m ses indtil sydenden af Hundø. Topografisk præges dette område af en række småøer, hvoraf nogle er vanddækket. De to store øer Hundø og Tårtúnguaq har tilsyneladende undersøiske forlængelser i form af rygge strækkende sig ud mod den centrale kanal. Tilsammen danner de en tærskel i et nordvestligt-sydøstligt strøg (bilag 3) dog gennemskåret af den centrale kanal. Af konturkortet over grundfjeldets overflade (bilag 3) ses en korrelation dels mellem den centrale kanal og grundfjeldet overflade, dels i områdets sydøstlige del syd for Tårtúnguaq. Lavningen i grundfjeldet har en bugtning i området syd for Hundø, der tilsyneladende er udfyldt af op til 40 m marint ler (bilag 5b). Der er dog en markant forskel i fordelingen af de overliggende sedimenter, idet der i den nordlige del mellem Hundø / Tårtúnguaq er mindre end 10 m sedimentdække, mens der i det sydøstlige område er 10 – 30 m sedimentdække af hovedsagelig marint ler (bilag 4 og 5).

5. Bilagsoversigt

Bilag 1a: Oversigtskort med sejlinier i Narssaq Løb

Bilag 1b: Oversigtskort med sejlinier i området Hundeø-Rypeø

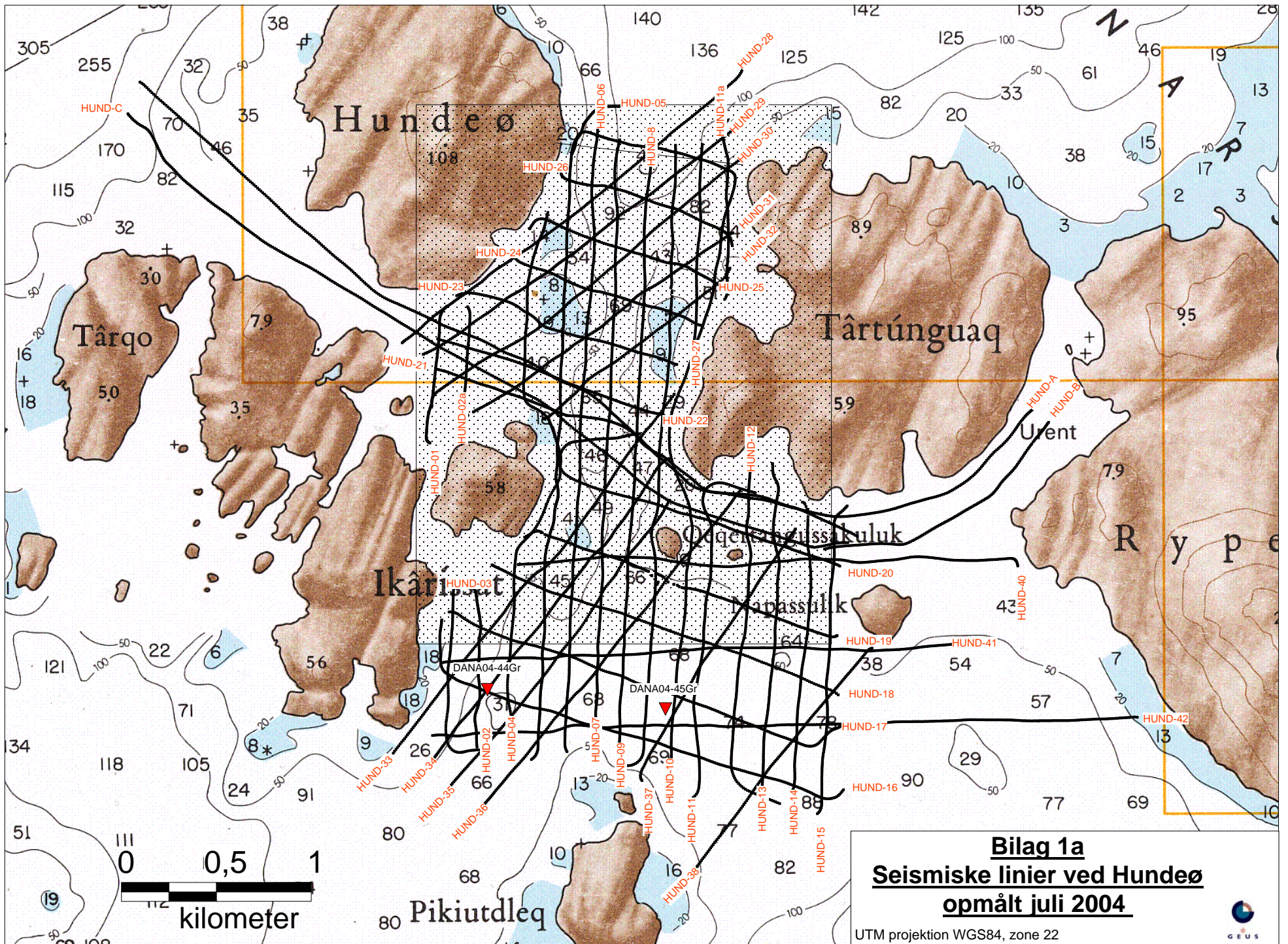
Bilag 2: Bathymetrisk kort

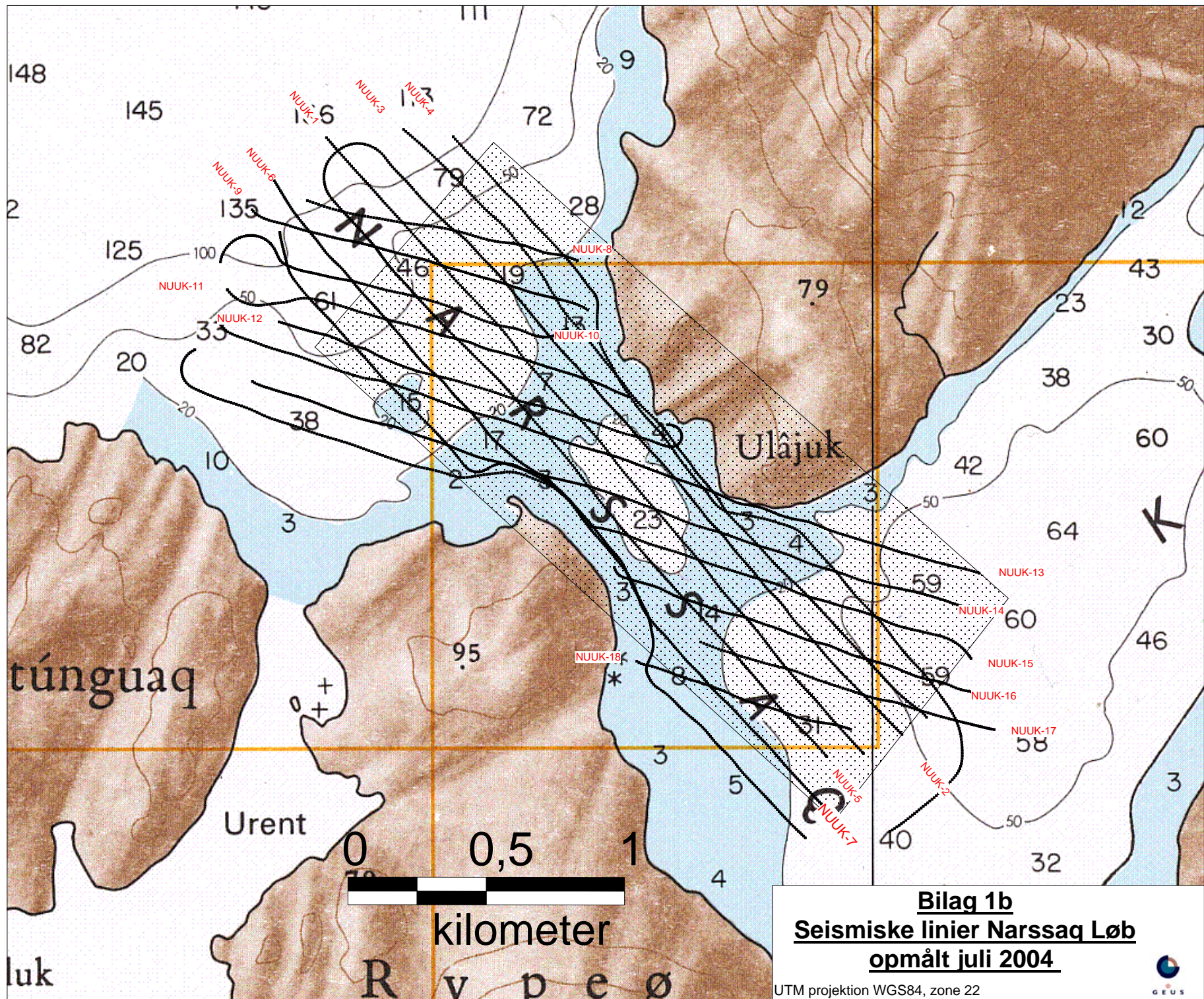
Bilag 3: Konturkort over grundfjeldets overflade

Bilag 4: Konturkort over den samlede tykkelse af sedimenter over grundfjeld

Bilag 5a: Konturkort visende tykkelsen af marint ler i Narssaq Løb

Bilag 5b: Konturkort visende tykkelsen af marint ler i Hundeø området

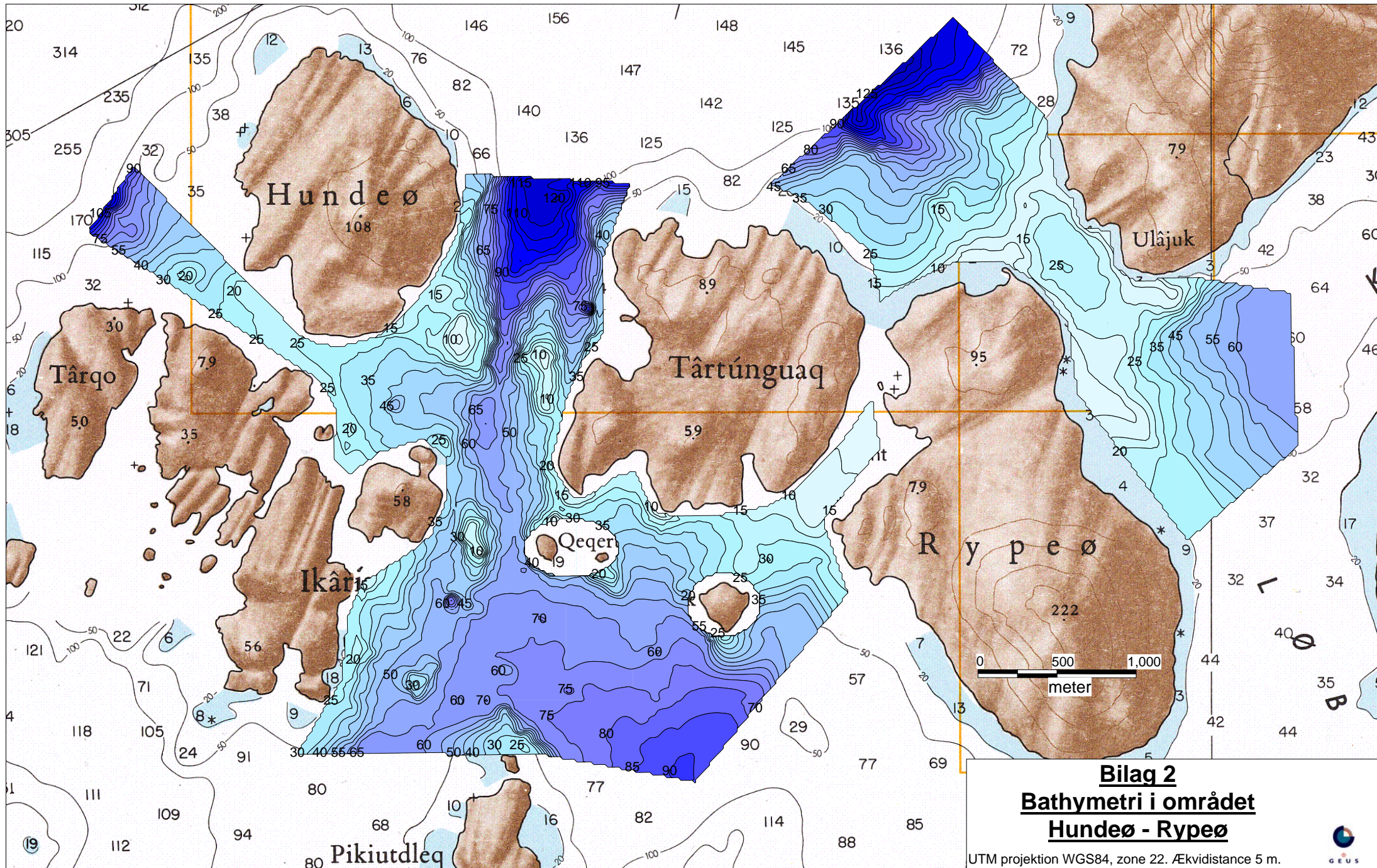


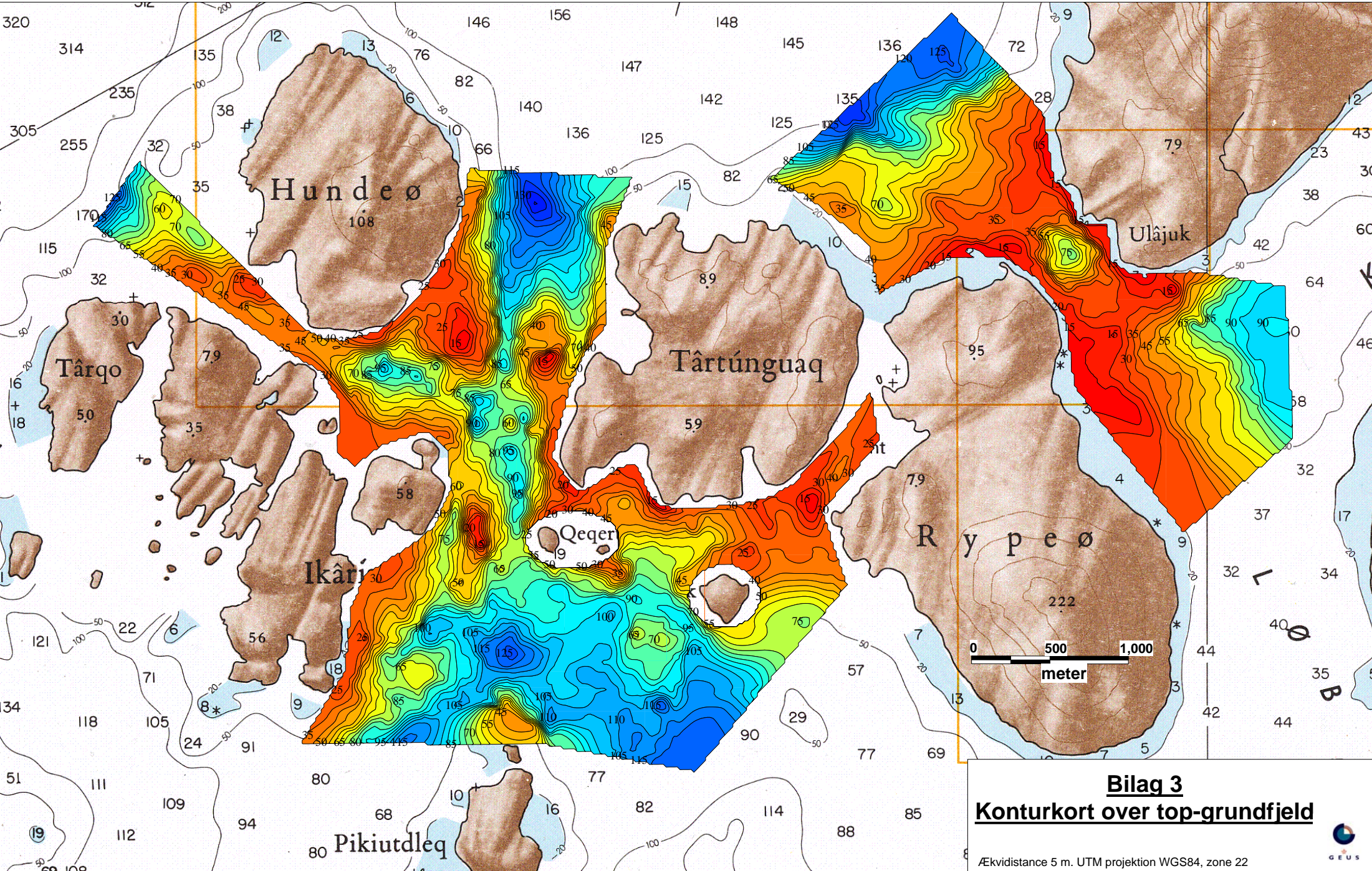


Bilag 1b
Seismiske linier Narssaq Løb
opmålt juli 2004

UTM projektion WGS84, zone 22



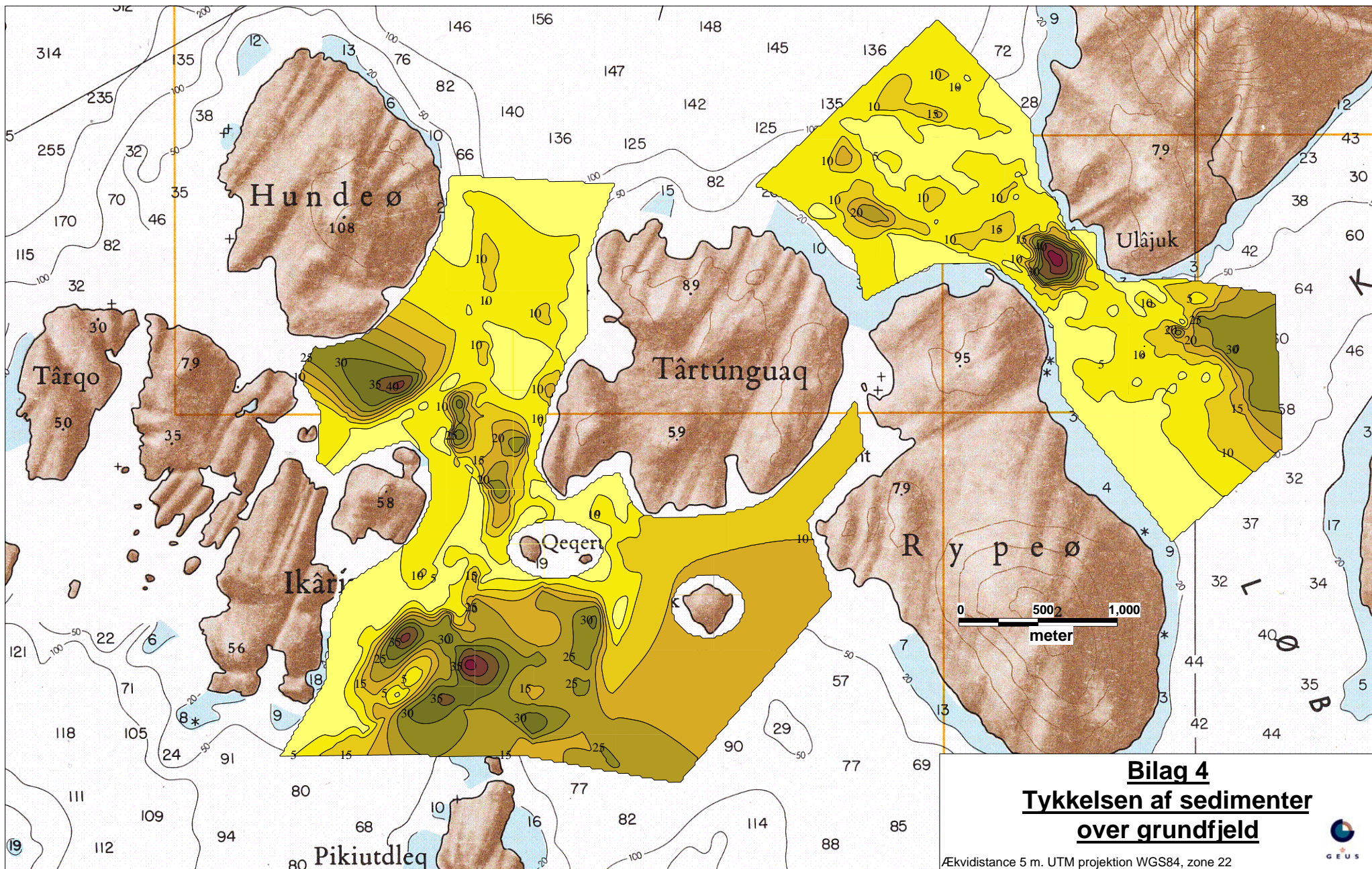


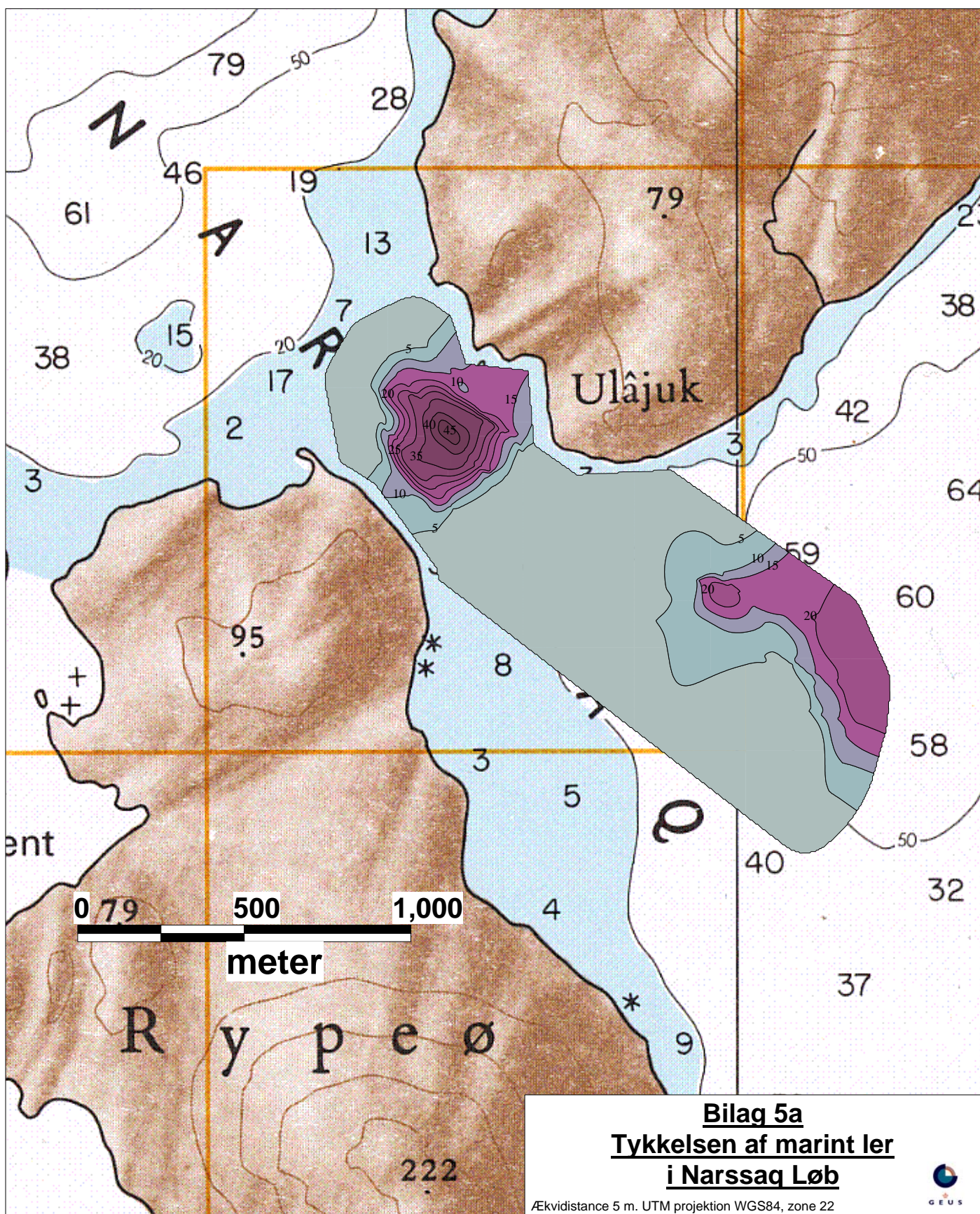


Bilag 3
Konturkort over top-grundfjeld

Ækvidistance 5 m. UTM projektion WGS84, zone 22



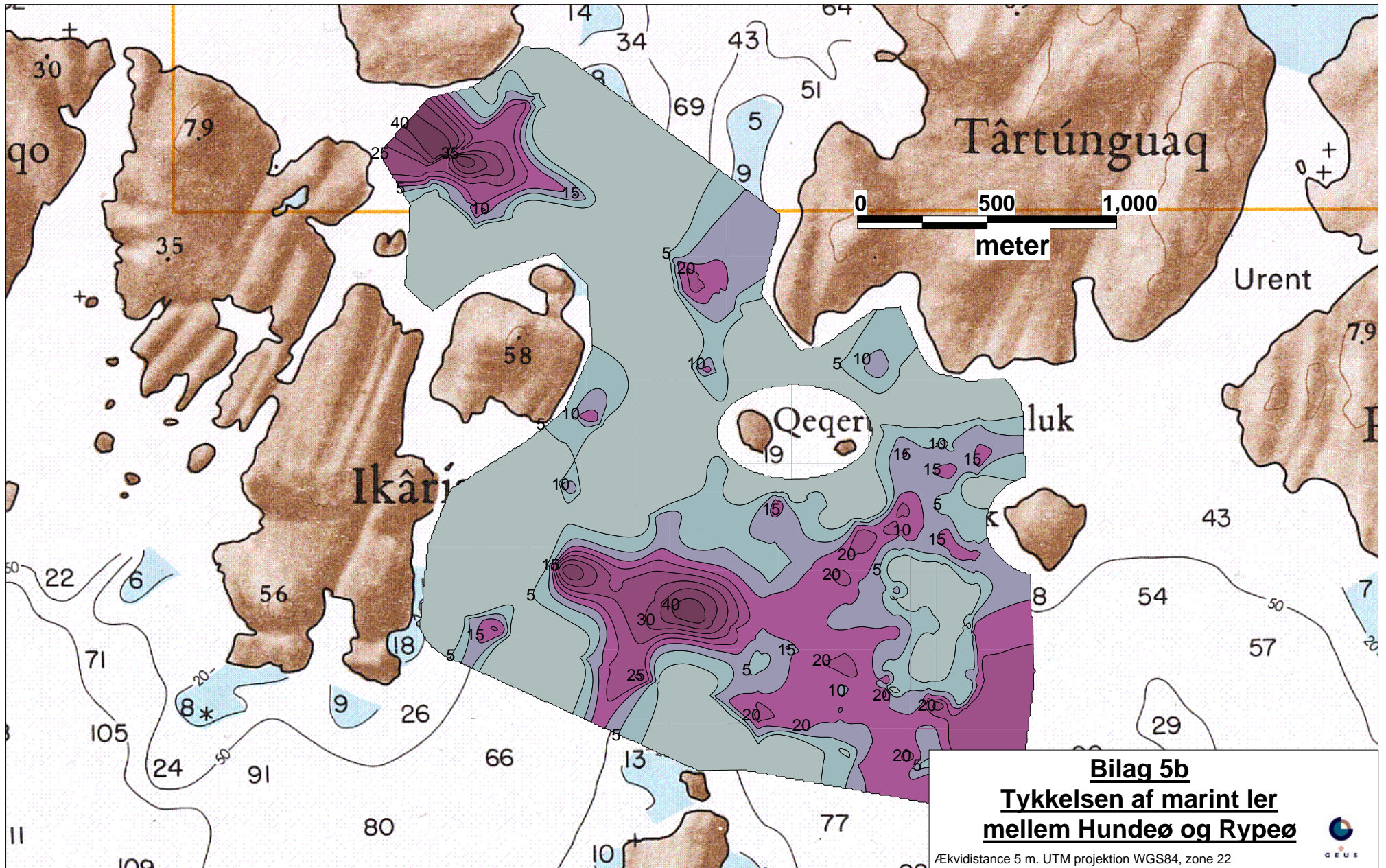




Bilag 5a
Tykkelsen af marint ler
i Narssaq Løb

Ækvidistance 5 m. UTM projektion WGS84, zone 22





Bilag 5b
Tykkelsen af marint ler
mellem Hundeø og Rypeø

Ækvidistance 5 m. UTM projektion WGS84, zone 22

