



(12) PATENT

(19) NO

(11) 323490

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 3/17 (2006.01)

G01V 3/12 (2006.01)

Patentstyret

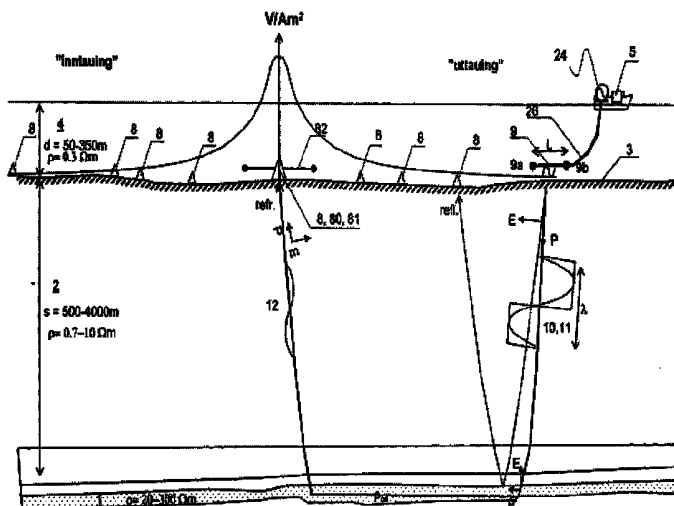
(21)	Søknadsnr	20050108	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2005.01.10	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2005.01.10	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2006.07.11		
(45)	Meddelt	2007.05.29		
(73)	Innehaver	Norsk Hydro ASA, 0240 OSLO		
(72)	Oppfinner	Svein Erling Johnstad, Gullstølslien 19, 5152 BØNES Brian Anthony Farrelly, Krohnåsvegen 83, 5239 RÅDAL		
(74)	Fullmektig	Venche Høines Johnsen, c/o Norsk Hydro ASA, 0240 OSLO		

(54)	Benevnelse	Elektromagnetisk hydrokarbonprospektering i grunne havområder
(56)	Anførte publikasjoner	B. Farrelly, C. Ringstad, S.E. Johnstad and S. Ellingsrud, Remote characterization of hydrocarbon filled reservoirs at the Troll Field by Sea Bed Logging, Paper presented at the EAGE Fall Research Workshop Rhodes, Greece, 19th-23rd September 2004. R. Mittet, L. Løseth and S. Ellingsrud, Inversion of SBL data acquired in shallow waters, Paper presented at the 66th EAGE Conference & Exhibition Paris, France, 6th-10th June 2004. WO 2002014906 A1

(57) Sammendrag

En fremgangsmåte for bestemmelse av elektriske egenskaper av en undervanns petroleumsførende geologisk formasjon (1) under overlagrende geologiske lag (2) med en tykkelse (s) under en sjøbunn (3) i en sjø (4), hvor fremgangsmåten omfatter følgende trinn:

- anbringelse av en eller flere senderantenn (9) i sjøen (4), og anbringelse av en eller flere elektromagnetiske mottakere (8) i sjøen (4), - hvor sjøen har en grunn dybde (d) på 50 - 350 meter;
- anvendelse av senderantennen (9) til utsending av elektromagnetiske signaler (10) omfattende en eller flere pulser (11) med veldig lav frekvens mellom omtrent 0,01 Hz og 0,10 Hz;
- anvendelse av mottakerantennene (8) med en offset fra senderantennene (9), for å motta forplantede elektromagnetiske signaler (12) på grunnlag av de utsendte elektromagnetiske signalene (10);
- analyse av en eller flere komponenter av de mottatte signalene (12) for mottakere (8) med offset mellom 1 og 12 km, hvorvidt signalene (12) skiller seg vesentlig fra signalene som ville opptre fra en vannførende geologisk formasjon (1), og som 20 derved indikerer en petroleumsførende formasjon (1).



5 Oppfinnelsens fagområde

Den foreliggende oppfinnelsen vedrører marin geofysikk med anvendelse av elektromagnetisk detektering av overleirede geologiske formasjoner. Oppfinnelsen er spesielt anvendelig for bestemmelse av hvorvidt et prospektivt petroleumsreservoar indikert i seismikk kan være oljeførende, og også
10 fortrinnsvis angi den horisontale utstrekning av petroleumsreservoaret, og bestemmelse av et verdiområde for noen av de elektriske egenskapene av petroleumsreservoaret. Dybden, utstrekningen og særlig de elektriske egenskapene kan gi viktig informasjon om hvorvidt et oljevolum i reservoaret kan skilles fra allestedsnærværende vann som man vanligvis finner i de fleste
15 bergarter under terrengoverflaten.

Mer spesifikt gjelder oppfinnelsen en metode for å generere svært langbølgete elektromagnetiske signaler under sjøen, og detektere elektromagnetiske bølger under sjøen, hvor noen av disse bølgene har forplantet seg nedover, langs og
20 oppover gjennom geologiske lag under sjøen, som indikert i Fig. 1a. Slike svært langbølgede elektromagnetiske bølger for bruk i den foreliggende oppfinnelse ligner på radiobølger, men er av mye lenger bølgelengde. Elektromagnetiske bølger blir ganske kraftig dempet i sjøen og i bakken på grunn av den elektriske resistiviteten i bergartene med mer eller mindre salint vann. Dempningen er
25 sterkest uttrykt for høye frekvenser. Men gitt en sterk elektromagnetisk kilde og en svært følsom mottaker, og ved bruk av en lav frekvens, kan et signal som har forplantet seg gjennom sjøvannet og bakken bli detektert ved mottakeren. Generelt kan sedimentære lag danne en overleiring over et dyp begravd porøst geologisk lag som kan være et lovende hydrokarbonreservoar. Noen av de
30 elektromagnetiske bølgene har blitt reflektert av det prospektive hydrokarbonreservoaret, og noen av bølgene kan ha blitt refraktert langs det prospektive hydrokarbonreservoaret. En liten brøkdel av den reflekterte eller refrakterte elektromagnetiske energien vil nå tilbake til sjøbunnen i form av elektromagnetiske bølger, og være målbar med elektromagnetiske antenner.

Oppfinnelsens bakgrunn

Mange geofysiske og direkte metoder kan benyttes for å detektere et petroleumsreservoars tilstedeværelse. Fremgangsmåtene som anvendes kan benyttes i forskjellige rekkefølger, avhengig av mengden av kunnskap oppnådd i foregående utforskingstrinn. Magnetometri kan benyttes for å bestemme og kartlegge dybdene til grunnfjellet under et sedimentært basseng, og er raskt og billig målt. Gravimetrisk målinger kan gi omrisset av vulkanske plugg og sills som vil ha en positiv gravimetrisk anomali, og saltdom-trekk vil fremvise en negativ anomali i gravimetrisk profil og kart. Et petroleumsreservoar kan fremvise en negativ gravimetrisk anomali på grunn av det faktum at petroleumsfluidene har lavere tetthet sammenlignet med det vannet de fortrenger, men slike trekk er vanligvis ikke av signifikant størrelse til å bli direkte detektert, men kan utgjøre en signifikant målbar forskjell under produksjonen av feltet. Gravimetrisk målinger er også hurtig å samle inn, men ganske mye mer tidkrevende sammenlignet med magnetometri.

* **Elektromagnetisk** prospektering benytter elektromagnetiske signaler med en bølgelengde som er tilstrekkelig til å gjennomtrengte de geologiske lagene under sjøen. Detektering av de elektromagnetiske bølgene kan skje enten på sjøbunnen eller i sjøvannet. Slik elektromagnetisk prospektering kan benyttes for å skissere opp noen geologiske lag som har høyere eller lavere resistivitet enn deres omgivende geologiske formasjoner. En senderantenne benyttes i sjøen for utsendelse av elektromagnetiske bølger som forplanter seg gjennom sjøen og de geologiske formasjonene. En liten andel av refraktert og reflektert elektromagnetisk energi vil nå tilbake til sjøbunnen og vil være detekterbar. De detekterte signalene blir analysert for å indikere petroleumførende formasjoner. Fig. 1a indikerer slik elektromagnetisk prospektering.

* **Seismisk** prospektering benytter lavfrekvente lydbølger fra en seismisk kilde, hvor bølgene forplanter seg gjennom sjøen og berggrunnen til en seismisk mottaker. Hastigheten til de seismiske bølgene avhenger av tettheten og andre mekaniske egenskaper i bergartene som de forplanter seg gjennom, og

bølgens utbredelsesmodus, enten som en kompresjons- eller "p"-bølge med partikkelbevegelsen på langs av den seismiske energiutbredelsen, eller som en transversal, skjær eller "s"-bølge med sin partikkelbevegelse normalt på linjen for seismisk energiforplantning. Marinseismikk krever en dedikert seismisk kilde og et svært følsomt array av seismiske mottakere, vanligvis i form av en eller flere tauede seismiske streamere med hydrofoner eller sjøbunnskabler med hydrofoner og geofoner, og er en langt mer tidkrevende og dyr prosess soammenlignet med gravimetri. Marinseismikk kan gi høy-oppløsnings refleksjonsseismiske profiler som kan prosesseres for å fremvise snitt av geologiske strukturer som indikerer potensielle petroleumsførende petroleumsfeller, som en porøs sandformasjon i en antiform og dekket av et impermeabelt sedimentært lag, eller en porøs sandformasjon vertikalt forskjøvet av en forkastning. Slike omriss av potensielle petroleumsførende formasjoner kan imidlertid sjelden skilles på grunnlag av sine seismiske hastigheter fordi tettheten og således den seismiske hastigheten av en oljeførende formasjon bare er lite grann lavere enn den seismiske hastigheten av den samme formasjonen som vannfytt. Imidlertid, når man først har funnet en potensiell petroleumsførende formasjon i de seismiske profilene, kan elektromagnetisk prospektering benyttes for å bestemme noen av de elektriske egenskapene av formasjonen, og indikere tilstedeværelsen av vann eller petroleum, som forklart nedenfor.

* **Boring** er den ultimate og dyreste måten for å fremskaffe geologisk informasjon om et prospektivt reservoar. På grunnlag av gravimetri, elektromagnetisk og seismisk undersøkelse og generell geologisk informasjon, gjøres en evaluering av det potensielle feltet. Plasseringen av de første lete- eller "villkatt"-hullene bestemmes og bores når noen eller alle de mindre kostbare metodene som gravimetri og seismikk indikerer tilstedeværelsen av et petroleumreservoar. Dernest, dersom resultatene er positive, bores produksjonsbrønner. For å finne en rimelig indikasjon på den horisontale utstrekning for et reservoar, kan evaluerings- eller avgrensingsbrønner bores.

Problemstilling og kjent teknikk på fagområdet

Et stort praktisk problem i marin elektromagnetisk geofysikk er det faktum at sjøen er konduktiv, med en konduktivitet på om lag 0,3 Ohm-meter på grunn av dens salinitet. Konduktiviteten medfører en vesentlig signaldempning ettersom de elektromagnetiske bølgene utbrer seg gjennom det konduktive saline vannet. Også en stor andel av bergartene fra sjøbunnen og ned gjennom hele overleiringen er mer eller mindre konduktive, med en konduktivitet som kan variere fra 0,3 for generelt sjøvanns-vætede ukonsoliderte porøse sjøbunns-sedimenter, til 10 Ohm-meter for mer konsoliderte sedimenter som inneholder mindre salt og har lavere ionemobilitet. Imidlertid er de elektriske egenskapene for en petroleumsførende bergart signifikant forskjellig fra en salin vannførende bergart. En petroleumsførende sandstein kan ha en konduktivitet på omtrent 20-300 Ohm-meter. Ellingsrud et al har i US-patent 6717411 på dypt vann benyttet en sender i form av et tauet horisontalt innrettet dipol-elektrodepar på 100-1000 m adskillelse og benyttet en 1 Hz vekselstrøm. Bølgelengden l av transmisjonen er indikert til å være i området

$$0,1s \leq l \leq 5s \text{ og i en mer foretrukket utførelse}$$

$$0,5s \leq l \leq 2s$$

hvor l er bølgelengden av transmisjonen gjennom overlageringen av tykkelse s . I det beskrevne eksempelet er tykkelsen s lik 800 m, som indikerer

$$80 \text{ m} \leq l \leq 4000 \text{ m, i en mer foretrukket utførelse}$$

$$400 \text{ m} \leq l \leq 1600 \text{ m.}$$

Sjødybden benyttet i Ellingsrud sine eksempler er 1000 m, og resistiviteten er 0,7 Ohm-meter. For bølgelengder gjennom overlageringen som indikert foretrukket

$$80 \text{ m} \leq l \leq 4000 \text{ m, eller helst}$$

$$400 \text{ m} \leq l \leq 1600 \text{ m, dette indikerer frekvensområder på}$$

$$1100 \text{ Hz} \leq f \leq 0,44 \text{ Hz, fortrinnsvis}$$

$$44 \text{ Hz} \leq f \leq 2,7 \text{ Hz.}$$

30

De foretrukne bølgelengdene indikert av Ellingsrud samsvarer ikke med det indikerte transmisjonsfrekvens-området:

1 kHz $\leq f \leq$ 0,01 Hz, mer foretrukket

20 Hz $\leq f \leq$ 0,1 Hz, for eksempel

1 Hz.

5 Den faktisk benyttede frekvens i Ellingsruds eksempel er 1 Hz, som gir en faktisk bølgelengde på 421 m dersom resistivitet in overlagingen er 0,7 Ohm meter.

10 Når man tauer senderantennen nær sjøbunnen på en sjødybde på 1000 m som i Ellingsruds eksempel, utgjør, på grunn av sjøvannets konduktivitet, luftbølgen intet signifikant problem. Sjødybdene som er relevante for vår foreliggende oppfinnelse kan være omkring 50 til omkring 350 meter, langt grunnere enn i det ovenfor nevnte US-patentet. Dybden kan til og med være så grunn som 20 meter eller til og med 10 meter. Luftbølgen som antas å være et signifikant problem når man benytter en frekvens på omlag 0,5 Hz, vennligst se Fig. 4F,

15 hvor det forekommer et ikke-signifikant avvik i den normaliserte kurven for et petroleumsførende reservoar når man måler på en vanddybde på 128 m. Tykkelsen av overlagingen kan være mellom 500 og 3000 meter i den foreliggende oppfinnelsen. Man kan også se for seg å benytte den foreliggende fremgangsmåten for å verifisere tilstedeværelsen av grunn gass som metan

20 eller såkalte gasshydrater som er funnet ved grunnseismikk på dybder grunnere enn 500 meter. Slike gasshydrater kan være indikert i grunnseismikken i og med at deres seismiske refleksjonskontur følger mer eller mindre sjøbunnens kontur, men kan verifiseres ved å bruke elektromagnetiske metoder for å indikere en høyere resistivitet.

25

Fra artikkelen "Remote characterization of hydrocarbon filled reservoirs at the Troll Field by Sea Bed Logging", Farrelly, Ringstad, Johnstad and Ellingsrud, EAGE Fall Research Workshop, Rhodes, Greece, 19-23 september 2004, er det kjent å benytte en horisontal elektrisk dipolsender som kan sende ut

30 frekvenser i området 0,05 Hz til 10 Hz.

Dempningen av elektromagnetiske bølger i saline konduktive bergarter øker med økende frekvens. Frekvensen som er benyttet av Farrelly et al. er så lav som 0,25 Hz for at det i det hele tatt skal kunne mottas et tilstrekkelig lite dempet signal ved mottakerne. Farrelly et al. har ikke vist analyser av høyere harmoniske av måledataene. Dersom 0,25 Hz benyttes, som beskrevet av Farrelly i den motholdte artikkelen, må det regnes med at den 3. harmoniske med en frekvens på 0,75 Hz, og 1/3 av energien i den grunnharmoniske, og den 5. harmoniske med frekvens på 1,25 Hz, begge på grunn av sine "høye" frekvenser vil være så dempet ved mottakerne at de ikke vil være signifikant detekterbare ved filtrering av det mottatte tidsdomene-målesignal.

Fra artikkelen "Inversion of SBL data acquired in shallow waters", R. Mittet, L. Løseth og S. Ellingsrud, 66th EAGE Conference & Exhibition, Paris, 6-10 juni 2004, er det også kjent å benytte firkantpulser utsendt på 0,25 Hz.

Fra WO 02/14906 er det kjent en metode og et apparat for å bestemme naturen ved undersjøiske reservoar. Patentsøknaden omhandler en metode med innsamling ved to forskjellige senderantennere, og ikke en retning som i foreliggende søknad.

En ulempe ved den kjente teknikk er bruken av sinusbølgepulser, hvor bølgen er en kontinuerlig bølge, noe som er vanskelig å opprettholde når den dannes i marine elektriske generatorer som i praksis skal mer eller mindre kortsluttes gjennom senderantennene i sjøen. En enklere signalkilde søkes i den foreliggende oppfinnelsen.

Kort sammendrag av oppfinnelsen

En løsning på noen av de ovennevnte problemene er en fremgangsmåte for å bestemme elektriske egenskaper av en undervanns petroleumsførende geologisk formasjon under overlagrede geologiske lag med en tykkelse s under en sjøbunn i en sjø, hvor fremgangsmåten omfatter følgende trinn:

* anbringelse av en eller flere senderantenner (9) i sjøen (4), og anbringelse

av en eller flere elektromagnetiske mottakere (8) i sjøen (4);

* anvendelse av senderantennen (9) til utsendelse av elektromagnetiske signaler (10);

5 * anvendelse av mottakerantennene (8) med en offset fra senderantennene (9), for å motta forplantede elektromagnetiske signaler (12) på grunnlag av de utsendte elektromagnetiske signalene (10);

* at fremgangsmåten utføres hvor sjøen har en dybde (d) på mellom omtrent 50 meter og omtrent 350 meter;

10 * hvor utsendelsen av elektromagnetiske signaler (10) omfattende pulser (11) med veldig lav frekvens mellom omtrent 0,01 Hz og 0,10 Hz;

* analyse av en eller flere komponenter av de mottatte signalene (12) for mottakere med offset mellom 1 og 12 km, hvor signalene (12) skiller seg vesentlig fra signalene som ville opptre fra en ellers vannførende geologisk formasjon (1), og som derved indikerer en petroleumførende formasjon (1).

15

I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen sendes det ut et firkantpuls-signal med frekvens $f = 0,01$ Hz til $1,10$ Hz, fortrinnsvis omkring $0,02$ Hz, hvor firkantpuls-signalet har i det minste en harmonisk komponent på $3 \cdot f$ detekterbar på nevnte offset.

20

Ytterligere foretrukne utførelser av oppfinnelsen er definert i de underordnede kravene.

Kort beskrivelse av tegningene

25 Oppfinnelsen er illustrert i de vedlagte tegningene, som er ment for illustrative formål kun. Tegningene skal ikke kunne oppfattes som begrensende for oppfinnelsens omfang, som kun skal være begrenset av de vedlagte kravene.

30

Fig. 1a illustrerer et forestilt geologisk snitt av en sedimentær formasjon som danner et petroleumreservoar, og med en overløring på omtrent 500 m til 3000 m og en vanddybde på omtrent 50 m til 350 m. dybden kan til og med være så grunn som 20 eller 10 meter. Et skip tauer en marin elektromagnetisk

horisontalt innrettet signalkilde. Sjøstrekingen inn mot kilden kalles "inntauings"-delen av kurven hvor senderen nærmer seg mottakeren, og sjøstrekingen bort fra kilden tilsvarende kalles "uttauing". Både reflekterte og refrakterte elektromagnetiske signalbaner er vist mellom senderen og mottakeren. Også indikert i Fig. 1 er en horisontal komponent av det mottatte feltet, vist i en logaritmisk skala. I nærfeltet kan spenningen være veldig sterk, så det anbefales å taue senderen omtrent 50 m til 70 m over mottakerne på sjøbunnen, eller kan mottakerne bli ødelagt på grunn av det sterke elektromagnetiske feltet når senderen passerer gjennom sjøen over mottakeren.

Fig. 1b er en enkel illustrasjon av det elektromagnetiske feltet som målt over en enkelt mottaker i henhold til felt-oppsettet fra Fig. 1a. En enkelt mottaker med antenner er satt inn i figuren ved null offset.

Fig. 2 illustrerer den horisontale komponenten av amplituden av et signal mottatt på en stasjon på sjøbunnen, fra en tauet elektromagnetisk sender som sender en vekselstrøm ut i sjøen. Den utsendte frekvensen er 0,25 Hz. Signalet er normalisert med hensyn til senderkildestykken:

$$(V/m) / (Am) = V/Am^2,$$

og er en kildenormalisert amplitude som vanligvis kalles "magnitudo".

Fig. 3 illustrerer normaliserte kurver hvor en signalamplitude-kurve av en anomal formasjon med høy resistivitet, f.eks. på grunn av at den er petroleumsførende, med overløring av ordinær resistivitet, som i Fig. 1, er delt på en tilsvarende signalamplitudekurve som om petroleumen i den samme formasjonen er erstattet med vann, noe som resulterer i ordinær resistivitet. Offset langs abscissen er gitt i kilometer. Den normaliserte "vannkurven" som indikerer vann, er en referansekurve basert på vannførende reservoarformasjoner, er gitt verdien 1.

Fig. 4a er en slik normalisert målekurve av det horisontale langs innsamlings-

linjen løpende feltet for en utsendt frekvens på 0,025 Hz, altså en periode på 40 sekunder, og en vanddybde på 128 m. Tykkelsen av modellen er omtrent 1600 m overleiring med resistivitet 1 Ohm-meter, og reservoartykkelse i modellen er omtrent 100 m med en resistivitet på 80 Ohm-meter. For hydrokarbon-

5 detektering i det foreliggende tilfellet med mer eller mindre horisontal petroleumsførende formasjoner, anses "langs-linje" responsen som viktigere enn feltresponsen på tvers av innsamlingslinjen. I områder med lithologiske komplikasjoner som saltavsetninger, kan tverslinje-responsen være mer betydningsfull.

10

Fig. 4b er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,05 Hz, dvs. en periode på 20 sekunder.

Fig. 4c er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,10 Hz, dvs. en periode på 10 sekunder.

15

Fig. 4d er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,20 Hz, som gir en periode på 5 sekunder.

20

Fig. 4e representerer den tilsvarende kurve for 0,25 Hz, dvs. en periode på 4 sekunder.

Fig. 4f representerer kurven for 0,5 Hz, altså en periode på 2 sekunder.

25

Fig. 4g er en normalisert kurve for 0,25 Hz og dypt vann, her 1024 m. Den har blitt satt sammen på samme ark som en kopi av Fig. 4e som viser den tilsvarende kurven for 0,25 Hz og gruntvannsforhold, her 128 m. en stor forskjell mellom de to tilfellene er at en del av det gruntvannsutsendte signalet vil lekke til luften og vil dominere de registrerte signalene ved større offset.

30

Fig. 5a er et kart av Grane-oljefeltet i Nordsjøen. Reservoardelen av reservoarformasjonen er grovt omrisset. En nord - sør løpende elektromagnetisk undersøkelseslinje fra 2003 er indikert tvers over kartet.

Fig. 5b er et normalisert elektrisk magnituedeplott som mottatt på en enkelt mottaker, Rx12, for en utsendt frekvens på 0,25 Hz.

5 Fig. 5c viser et oppsummeringsplott av normalisert elektrisk magnituedeplott for alle mottakere. Abscissen er i meter. Mottakerne nummerert 1 til 16 er indikert langs
10 absissen, og samsvarer med profillinjen vist i Fig. 5a. I dette plottet blir den normaliserte elektriske magnituedeplott for en bestemt kilde-mottaker-offset fra hver registrering fra stasjonene Rx1 til Rx16. Offset for den utplukkede normaliserte feltverdien er 5 km. Det antas at 5 km offset registreringen indikerer en elektrisk
10 egenskapsverdi av den potensielt petroleumførende formasjonen ved den halve offset-avstanden, dvs. 2,5 km. Taueretningen i denne figuren er fra begynnelsen av profilet i nord.

15 Fig. 6a er det tilsvarende undersøkelseskartet for to elektriske havbunnsloggings-linjer utført tvers over Grane-feltet i 2004.

Fig. 6b ligner Fig. 5c, men for en undersøkelse gjort i 2004 for taelinje 2 som indikert i Fig. 6a.

20 Fig. 6c er et elektrisk magnituedeplott som mottatt på en enkelt mottaker, Rx10, fra linje 2 fra Grane 2004-kartleggingen. Det utsendte signalet er en firkantpuls med en fundamentalfrekvens på $f=0,02$ Hz, og således med harmoniske
25 frekvenser på $3*f$, $5*f$, $7*f$, og så videre. Kurvene "O: over oljeførende fm." Er sammenlignet med et signal registrert på en referansestasjon utenfor reservoaret, nemlig "W: over vannførende fm.". Det viste målte strekning er i meter fra 3000 m til 12000 m offset for stasjonen Rx10, og fra 3000 m til omtrent 8000 m for referansestasjonen. Ordinataksen er i log amplitude av det
kildenormaliserte mottatte signalet, fra $10^{-13.5}$ V/Am² to 10^{-11} V/Am².

30 **Beskrivelse av foretrukne utførelser av oppfinnelsen**

Oppfinnelsen er en fremgangsmåte for å bestemme elektriske egenskaper av en undervanns petroleumførende formasjon 1 med en overleiring 2 av

geologiske lag 2 med tykkelse s og med en sjøbunn 3 som dekkes av en sjø 4 i det området som er av interesse. Fremgangsmåten omfatter de følgende trinn:

5 * En eller flere elektromagnetiske mottakere 8 anordnet i sjøen 4. De elektromagnetiske mottakerne 8 kan være par av elektroder som holdes av stenger 82 av ønsket lengde, og som bærer en eller annen signallagringsenhet 81 i en mottakerbeholder 80 innrettet for å holde antennestengene 82. Slike antennestenger blir vanligvis anordnet i et ortogonalt par og langs-linje-signalet beregnes fra langs-linje-komponentene av det ortogonale paret. Signallagringsenheten 81 bør utstyres med et ur for å registrere den faktiske tid for registrering av de mottatte signalene 12 som forklares nedenfor.

10 * En eller flere senderantenner 9 skal anordnes i sjøen 4.
* Senderantennen 9 blir så brukt for å sende ut elektromagnetiske signaler 10 av en eller flere pulser 11 med frekvenser mellom 0,01 Hz og 0,10 Hz. I den foreliggende utførelse av oppfinnelsen har en frekvens på 0,02 Hz blitt benyttet.
15 Sagt på en alternativ måte kan en bølgelengde l på mer enn 5 ganger tykkelsen s av overleiringen 2 benyttes. Tidligere ble det antatt at luftpulser som forplanter seg fra senderen 9 til antennene 8 ville overskygge ønsket informasjon om et geologisk petroleumførende reservoar 1, men ny modellering for grunne sjødybder har klart indikert at enten en signifikant økning eller reduksjon opptrer for det detekterte signalet ved intermedieære offset, selv for svært grunne sjødybder.

20 * Den aktuelle dybden d av sjøen 4 for den foreliggende oppfinnelsen som skal utføres er mellom 10 eller 20 meter og 400 meter, mer foretrukket 50-350 meter, og mest foretrukket mellom omtrent 80 meter og omtrent 300 meter.
25 Dette tilsvarer aktuelle dybder i Nordsjøen. Andre dybder kan være relevante for andre sjøområder i verden.

* Mye av energien av de utsendte signalpulsene 11 blir dempet på grunn av resistiviteten i sjøvannet og overleiringen, men en liten andel av energien blir til slutt innfanget. Elektromagnetiske signaler 12 som har sin årsak i de utsendte
30 elektromagnetiske signalene 10 forplanter seg for en del av den utsendte energien for å bli signifikant detektert ved mottakerne 8 med en offset fra senderen 9, gitt at senderen har tilstrekkelig kapasitet for utsendelse av

elektromagnetiske signaler, som beskrevet nedenfor.

* En eller flere komponenter av de detekterte signalene 12 blir analysert for offset-avstander mellom 3 km og 10 km mellom senderen 9 og mottakerne 8. Det antas at for slike offset vil de detekterte signalene 12 skille seg vesentlig fra et tilsvarende signal 12' som ville bli detektert fra en lignende men vannførende formasjon 1, hvor forskjellen i signal ville indikere at formasjonen 1 er petroleumsfluidførende.

Taufremgangsmåte

Ifølge oppfinnelsens fremgangsmåte er den ene eller de flere mottakerne 8 anbrakt på sjøbunnen 3, og den i en foretrukket utførelse ene sender 9 blir tauet i sjøen 4 ved hjelp av et marint fartøy 5, enten et overflatefartøy eller et undervannsfartøy. Senderen 9 kan taues på sjøbunnen 3, men for ikke å påtvinge en destruktiv elektrisk strøm på mottakeren 8 når den beveges nær den nødvendigvis svært sensitive elektriske mottakeren 8, kunne senderen 9 taues 30 til 70 meter over mottakeren 8 dersom traseen er mer eller mindre direkte over mottakeren. Alternativt, ifølge oppfinnelsen, kan mottakerne 8 taues i sjøen 4, hvor mottakerne er anordnet som en enkelt tauet mottaker 8 eller flere mottakere 8 anordnet på en kabel tauet etter et marint fartøy 5.

20

Ifølge en alternativ utførelse av oppfinnelsen kan mottakerne 8 taues på sjøbunnen 3.

Analyse

Analysen kan gjennomføres med hensyn til amplituden av de detekterte signalene 12 ved bruk av såkalt 1-D-modellering som illustrert i Fig. 2, og særlig i de normaliserte kurvene i Fig. 3 og 4. En 1-D-modell kan baseres på en enkelt borehullslogg av målt resistivitet av lagene av geologiske formasjoner som omgir borehullet. I en 1-D-modellering kan der ikke være noen dybdevariasjon i lagflatene mellom lagene. I en 2-D-modellering, f.eks. med resistivitetsmåledata fra to borede brønner, kan dybdevariasjon mellom lagene introduseres for bedre å passe til den aktuelle geologiske strukturen langs den

30

målte linjen.

Fig. 4f representerer kurven for 0,5 Hz, dvs. en periode på 2 sekunder ved en sjødybde på 128 meter. Tykkelsen av overleiringen i modellen er omtrent 1600 m med resistivitet på 1 Ohm-meter, og reservoartykkelsen av modellen er 100 m med 80 Ohm-meter resistivitet. Dette illustrerer et stort problem ved å bruke så høye frekvenser ved relativt grunt vann sammenlignet med tykkelsen av overleiringen. Responsen i den kildenormaliserte amplitude-kurven er neglisjerbar. Dette er modellerte data, og reelle data ville ha naturlige resistivitetsvariasjoner med dybden, noe som sannsynligvis ville gjemme slike små signal-anomalier under støygrensen.

Ovenfor Fig. 4f viser Fig. 4e den tilsvarende kurven for 0,25 Hz, dvs. en periode på 4 sekunder, for den samme sjødybden. En signifikant såkalt anomali i den kildenormaliserte amplituden kan sees som en svak økning i den normaliserte amplitudekurven mellom 2 og 3,5 km, og en sterk senkning av den normaliserte amplituden begynnende ved 3,5 km og som når sitt brede minimum på 0,80 ved omtrent 4,8 km, og med langsom tilbakevending til enhetskurven ved 8 km. Kurven kan beskrives som en forvrengt såkalt "wavelet" med en liten smal positiv del fulgt av en større og bredere negativ del. Den tilsvarende wavelet i Fig. 4f er invers og svært ubetydelig.

Fig. 4d er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,20 Hz, noe som gir en periode på 5 sekunder. Dybden er som for de andre modellene i Fig. 4: 128 meter. Den negative anomalien er nå forskjøvet til å starte ved 4 km, amplitudeminiimum er mer uttrykt til en verdi på omtrent 0,75 og forskjøvet til lenger offset ved 5,5 km, og vender tilbake lenger ute ved 10 km. Den økende offset assosiert med innslag, maksimum, enhets-kryssing og minimum, med avtakende frekvens, er indikert ved horisontale piler i Fig. 4d, 4c og 4b.

30

Endringen av kurvene er videre synlig med avtakende frekvenser. Fig. 4c er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,10 Hz, altså en

periode på 10 sekunder. Den kildenormaliserte amplitudekurven har nå sin positive del av waveleten signifikant bredere og økt, med start ved 2 km, økende til omtrent 1,28 av den kildenormaliserte amplituden ved en offset på omtrent 5,2 km, og fallende under enhetslinjen ved omtrent 6,5 km til et minimum som er mer negativt enn 0,75.

Virkningene indikert i Fig. 4d og 4c kan sees videre i Fig. 4b, som er en tilsvarende normalisert kurve for en utsendt frekvens på 0,05 Hz, dvs. en periode på 20 sekunder, samme dybde. Innslaget er som ved 0,10 Hz ved om lag 2 km, men av mye sterkere amplitude for 0,05 Hz, økende til mer enn 1,52 ved en offset på om lag 6,9 km, og fallende til enhetslinjen ved 9,9 km. Den negative delen av kurven befinner seg så langt offset at den ikke har blitt beregnet utenfor offset på 10 km.

Det foreløpig sterkeste maksimum er illustrert i Fig. 4a som også er en slik normalisert målekurve av det horisontale feltet langs linjen, for en utsendt frekvens på 0,025 Hz, altså en periode på 40 sekunder, og en vanddybde på 128 m. Innslaget er nå omtrent 2,2 km, og den positive delen er veldig bred og så sterk som 1,62 på den normaliserte kurven og offset med sitt maksimum som inntreffer ved omtrent 9,2 km, og hvor den negative delen langt utenfor 10 km, hvis den finnes.

Det kan sees fra de beregnede kilde-normaliserte amplitudekurvene at å bruke veldig lave frekvenser i området mellom omkring 0,025 Hz til omkring 0,25 Hz kan langt mer signifikante anomalier finnes ved å benytte en modell med en høyresistiv formasjon under en overleiring av ordinær resistivitet, og grunt sjøvann. Ved å kjenne dybden og tykkelsen av den potensielt petroleumførende formasjonen fra seismisk analyse, men ikke resistiviteten, kan det bestemte spørsmålet gis et svar ved å bruke fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen.

Fig. 4g er en normalisert kurve for 0,25 Hz og dypt vann, her 1024 m. Den har blitt satt på det samme bladet som en kopi av Fig. 4e som viser den tilsvarende kurven for 0,25 Hz og gruntvannsforhold, her 128 m. Det som tydelig sees er at for dypt vann fremtrer et veldig klart og signifikant normalisert signal over den oljeførende formasjonen, sammenlignet med den normaliserte kurven over grunt vann. En stor forskjell mellom de to tilfellene er at for gruntvannsforhold kan en større andel av det utsendte signalet lekke til luften og ha signifikant påvirkning på det registrerte signalet. Imidlertid har forsøk på separasjon av opp- og nedadgående felt, så vel som luftbølgesubtraksjon blitt forsøkt, uten hell. Det er sterkt ønskelig å oppnå en elektromagnetisk metode som gir mer signifikante elektromagnetiske anomalier over oljeførende formasjoner også for grunne sjøforhold.

Signalutsendelse

Ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er de utsendte signalpulsene 11 generelt firkantpulser som omfatter grunnharmoniske cosinusbølger som er detekterbare langt unna. En fordel ved å benytte lave frekvenser ifølge oppfinnelsen er at også tredje harmoniske bølger og femte harmoniske bølger kna være detekterbare ved nevnte intermedieære avstander. Dette gjør det mulig å utføre uavhengige analyser for forskjellige frekvenser. Ved bruk av en grunnfrekvens for den utsendte firkantpuls på 0,02 Hz vil man motta et signal på stor avstand som sammensatt av det følgende:

- * en cosinusbølge på 0,02 Hz,
- * en tredje harmonisk cosinusbølge på $0,02 * 3 \text{ Hz} = 0,06 \text{ Hz}$, med en tredjedel av energien,
- * en femte harmonisk cosinusbølge på $0,02 * 5 \text{ Hz} = 0,10 \text{ Hz}$, med en femtedel av energien,
- * en syvende harmonisk cosinusbølge på $0,02 * 7 \text{ Hz} = 0,14 \text{ Hz}$, og så videre, hvor alle uavhengig av hverandre kan filtreres og analyseres, og utvide grunnlaget for analysen. De forskjellige harmoniske bølgene vil ha forskjellige utbredelseshastigheter.

Nedenfor er det listet opp forplantningshastighet og elektromagnetisk bølgelengde for noen verdier av overleiringens resistivitet og utsendte lave frekvenser.

5	R (Ohm-m)	f (Hz)	hastighet (m/s)	bølgelengde lambda (m)
	1	0.02 Hz	447 m/s	22400 m
	2	0.02 Hz	632 m/s	31600 m
	3	0.02 Hz	775 m/s	38700 m
10	1	0.06 Hz	775 m/s	12900 m
	2	0.06 Hz	1095 m/s	18300 m
	3	0.06 Hz	1342 m/s	22400 m
15	1	0.10 Hz	1000 m/s	10000 m
	2	0.10 Hz	1414 m/s	14000 m
	3	0.10 Hz	1732 m/s	17300 m
20	1	0.20 Hz	1414 m/s	7070 m
	2	0.20 Hz	2000 m/s	10000 m
	3	0.20 Hz	2449 m/s	12200 m

Det kan sees at bølgelengdene som benyttes for 1, 2 eller 3 Ohm-meter resistivitet i overleiringen, ved utsendelse av en veldig lav frekvens på 0,02 Hz resulterer i ekstremt lange bølgelengder på mellom 22400 m og 38700 m.

Senderantenne

Ifølge oppfinnelsen har senderantennen 9 et ekvivalent produkt av strøm I ganger lengde L med komponent i horisontalretningen, på mellom om lag 10000 Am, fortrinnsvis opp til 300000 Am eller mer, hovedsakelig horisontalt, som forklart nedenfor. Senderantennen 9 bær fortrinnsvis innrettet til å føre en elektrisk strøm på mellom omtrent 80 A og 2000 A, og ha en lengde på 50 til 500 m. Utsendelse av signalet kan da omfatte på en enkel måte å generere en likestrøm på la oss si om lag 80 A til om lag 2000 A, fortrinnsvis i området fra 100 A til 1000 A, og sende den direkte strømmen gjennom de to senderelektrodene 9A, 9B anordnet om lag 5 - 70 m over sjøbunnen og adskilt

ved en hovedsakelig horisontal avstand på om lag 50 til om lag 500 m, fortrinnsvis om lag 100 til om lag 300 m, og danne et ekvivalent produkt på om lag 400 Am til om lag 1000000 Am, fortrinnsvis fra 10000 Am til 300000 Am. Ved å benytte en grunnfrekvens for den utsendte firkantpuls på 0,02 Hz som i
 5 det foreliggende eksempelet, altså med en periode på 50 s, kan man enkelt og greit reversere den elektriske strømmen hvert 25 sekund for å danne den ønskede elektriske firkantpuls med lengde på 50 sekunder.

Resultater

10 Fig. 2 illustrerer horisontalkomponenten av amplituden av et signal mottatt på en stasjon på sjøbunnen, fra en tauet elektromagnetisk sender som sender en vekselstrøm i sjøen. Signalet omfatter både mottatte reflekterte signaler og refrakterte signaler, direkte signaler gjennom sjøvannet, og dels signaler som har forplantet seg gjennom luften. Ett par kurver er beregnet i henhold til en
 15 modell med grunt vann, 128 m, og de andre kurvene er beregnet i henhold til en modell med dypt vann, 4000 m. Den utsendte frekvensen er 0,25 Hz. Benevnelsen på ordinaten er gitt i elektrisk feltstyrke V/m normalisert med hensyn på senderens kildestyrke Am, $(V/m) / (Am) = V/Am^2$, en kildenormalisert amplitude kalt magnitude. Støygulvet blir vanligvis betraktet som å ligge mellom
 20 $10^{-15} V/Am^2$ og $10^{-13} V/Am^2$. Offset langs abscissen er i kilometer. Det nederste paret av kurver indikerer amplituden av det elektriske horisontale feltet målt på dypt vann, her 4000 m. For offset større enn 2000 meter ligger kurven beregnet for en oljeførende formasjon over kurven som indikerer en vannførende formasjon, og forskjellen er ganske utpreget. Det øverste paret av kurver er
 25 imidlertid beregnet for grunt vann, her 128 m. En reduksjon av amplitude kan sees mellom 4500 m og 8000 m i denne figuren, men forskjellen er ganske liten, og kan maskeres ganske fort av andre effekter som støy.

30 Fig. 3 illustrerer normaliserte kurver hvor en signalamplitude-kurve av en anomal formasjon med høy resistivitet, f.eks. på grunn av at den er petroleumsførende, med overleiring av ordinær resistivitet, som i Fig. 1, er dividert med en tilsvarende signalamplitude-kurve som om petroleumen i samme formasjonen er erstattet med vann og resulterer i ordinær resistivitet.

Offset langs abscissen er gitt i kilometer. En finstiplet linje indikerer amplitudekurven som skyldes den anomale oljeførende formasjonen for en 0,25 Hz utsendt bølge. Den normaliserte "vannkurven" som indikerer vann, er en referansekurve basert på vannførende formasjoner, er gitt verdien 1. dette kan

5 utføres ved å benytte data fra et datainnsamlingsprofil som krysser en del av formasjonen som er kjent for å være vannførende. Mellom 3,5 og 8 km er kurven av den vannførende formasjonen lavere enn om den samme formasjonen var petroleumsførende. En linje indikerer amplitudekurven på grunn av den anomale oljeførende formasjonen for en 0,25 Hz bølge er

10 beregnet for grunn vanddybde på 128 m er indikert. Vist på denne måten er det lettere å se at der er en liten men signifikant forskjell for 0,25 Hz, men denne forskjellen er sårbar overfor støy.

Fig. 5a er et kart over det elektromagnetiske havbunnsloggeprogrammet i 2003 over Grane-oljefeltet i Nordsjøen. Reservoardelen av reservoarformasjonen er grovt omrisset. En nord-sør løpende elektromagnetisk undersøkelseslinje er

15 indikert tvers over kartet. Mottakerstasjoner 12, 13, 14, 15 og 16 er plassert i den delen av profilet som skjærer den nordlige grensen av den oljeførende formasjonen i dette profilet. Mottakerstasjoner 1-11 er plassert i de delene av profilet som skjærer den sørlige grensen for den oljeførende formasjonen i dette

20 profilet. Over de sentrale delene av profilet over den petroleumsførende formasjonen av Grane-feltet er det ikke plassert mottakere.

Fig. 5b er en normalisert plott av elektrisk magnitudo som mottatt på en enkelt mottaker, Rx12, for en utsendt frekvens på 0,25 Hz. "vann" -kurven og "HC" -kurven viser en liten men signifikant forskjell mellom 4 og omtrent 7 km i disse reelle dataene.

25

Fig. 5c viser et oppsummeringsplott av en normalisert elektrisk magnitudo for alle mottakere. Abscissen er i meter. Mottakerne 1-16 er indikert langs abscissen, og samsvarer til profilet vist i Fig. 5a. i dette plottet er den normaliserte elektriske magnitudo for en bestemt kilde-mottaker-offset plukket

30

fra hver registrering fra stasjonene Rx1 - Rx16. Offset for de valgte normaliserte feltverdiene er 5 km. det antas at 5 km-offsetregistreringen indikerer en elektrisk egenskaps verdi av den potensielt petroleumsførende formasjonen ved halve denne offset-avstanden, dvs. 2,5 km. Taueretningen i denne figuren er fra begynnelsen av profilet i nord, dvs. til høyre for mottakerstasjon 16 i Fig. 5c, og mot venstre i Fig. 5c. Således blir "inntauings" -plukkeverdien ved 5 km. for stasjon Rx4 plottet 2,5 km før stasjon Rx4, og "uttauings" -verdien ved 5 km for stasjon Rx4 plottet 2.5 km etter stasjon Rx4. Det er en liten reduksjon i amplitudeverdier plottet for punktene som befinner seg innenfor omrisset av Grane-petroleumsfeltet indikert i Fig. 5c, men lave verdier finnes også for "inntauings" -plukkede verdier plottet for stasjon 12, 14, 15 og 16 nord for omrisset av Granefelt, som kan skyldes en økende mektighet av den underliggende chalk-formasjonen eller uopptaget olje nord for den nåværende avgrensningen av Grane-feltet. Vennligst legg merke til at der er en forskjell for inntauings og uttauings elektriske normaliserte 5 km-plukkede verdier, spesielt betydelig for f.eks. mottakerstasjon Rx8. I inntauingen på sørgående tur mot Rx8 er både sender og mottaker begge over en oljeførende del av reservoarformasjonen, og den resulterende 5 km verdien er omtrent 0,88. I den uttauende sørgående turen fra Rx8 er senderen over den vannførende delen av reservoarformasjonen, og den resulterende 5 km verdien er omtrent 1,04. andre offset enn 5 km kan benyttes for å velge verdien.

Fig. 6a er et tilsvarende undersøkelseskart for to elektriske havbunnsloggingsprofiler utført over Granefeltet i 2004. Linje 1 har en retning mer eller mindre nord - sør med mottakere Rx01 til Rx07, og linje 2 er NNØ-SSV med mottakere Rx08 til Rx12. Mottakerstasjon Rx04 er ved skjæringspunktet mellom linje 1 og linje 2.

Fig. 6b ligner på Fig. 5c, men for en kartlegging utført i 2004 for tauelinje 2 som indikert i Fig. 6a. Fig. 6b viser et oppsummeringsplott av en normalisert elektrisk magnitudo for alle mottakere langs linje 2. abscissen er i meter. Mottakerne Rx08, Rx09, Rx04 og Rx10 er indikert langs abscissen, og samsvarer med

profillinjen vist i Fig. 5a. I dette plottet blir den normaliserte elektriske magnitudo for en bestemt kilde-mottaker-offset plukket fra hver registrering fra stasjonene Rx08, Rx09, Rx04 og Rx10. Kilde-mottaker-offset for de plukkede normaliserte feltverdiene er 7 km, og verdiene er plottet på halvveien, 3,5 km fra mottakeren og 3,5 km fra senderen. Det er indikert i de skyggelagte søylene mellom 7 og 13 km, og mellom 15 og 17,5 km hvor de av Hydro estimerte petroleums-reservoarene strekker seg i denne kartleggingen har det blitt benyttet en firkantpuls med meget lav sendefrekvens på 0,02 Hz. I denne figuren har 3*f og 5*f harmoniske bølgekomponenter blitt analysert. Både den 3*f og 5*f harmoniske oppteignelsen fremviser et mye mer uttalt signalforhold, varierende mellom om lag 1,06 og 1,10 for overgangen mellom petroleumsførende formasjon ved stasjon Rx09, til mellom om lag 1,22 og 1,30 SV for stasjon Rx10 nær midten av den petroleumsførende formasjonen. Resultatet fra 2004-kartleggingen som bruker en firkantpuls på 0,02 Hz indikerer klarere tilstedeværelsen av petroleum i reservoarformasjonen enn oppteigningen fra 2003-kartleggingen som benyttet en bølgefrekvens på 0,25 Hz. En annen forskjell er at forholdet er over enhetsverdien for de ultra-lave frekvensene på 0,02 Hz som ble benyttet, i forhold til at forholdet er under enhetsverdien for bølgefrekvensen på 0,25 Hz som ble benyttet.

Fig. 6c er et elektrisk-magnitudo-plott som mottatt på en enkelt mottaker, Rx10, på linje 2 i Grane-2004-kartleggingen. Det utsendte signalet er en firkantpuls med en fundamentalfrekvens på $f=0,02$ Hz, og således inneholder det utsendte signalet harmoniske frekvenser på 3*f, 5*f, 7*f, og så videre. Stasjon Rx10 befinner seg over en oljeførende del av reservoaret. Kurvene blir også sammenholdt mot et signal registrert på en referansestasjon utenfor reservoaret, som kan anvendes for normaliseringsformål. Det fremviste målte avstandsområdet er i meter, fra 3000 m til 12000 m offset for stasjonen Rx10, og fra 3000 m til om lag 8000 m for referansestasjonen. Ordinataksen er i logaritmisk amplitude av det kildenormaliserte mottatte signalet, fra $10^{-13,5}$ V/Am² til 10^{-11} V/Am². Selv uten normalisering av de mottatte signalene fremviser fundamentalfrekvens-signalet $f=0,02$ Hz og de odde filtrerte

harmoniske $3 \cdot f = 0,06$ Hz og $5 \cdot f = 0,10$ Hz viser klart en respons som generelt er høyere enn signalet fra referansestasjonen. Utenfor 8000 m har det ikke blitt plottet noe referansesignal for sammenligning. Det $f = 0,02$ Hz "over-olje" signalet over den oljeførende delen av formasjonen er utpreget høyere enn referansesignalet mellom om lag 5000 m og 8000 m. Dette $f = 0,02$ Hz signalet er så langt stort sett i overensstemmelse med området hvor den teoretiske kurven på 0,025 Hz i Fig. 4a er over den normaliserte enhetsverdien. Kurven for $3 \cdot f = 0,06$ Hz er over referansekurven for Fig. 6c mellom 5,5 km og minst 8 km offset, også stort sett i overensstemmelse med den nærmeste modellerte kurven på 0,05 Hz. Kurven for $5 \cdot f$ er under referansekurven mellom omtrent 5,5 km og 6 km, og over enhetskurven mellom 6 km og om lag 7,7 km, som ikke er helt i samsvar med offset-verdiene for de modellerte dataene for 0,10 Hz, men signifikant forskjellig fra "over vann"-signalet.

Patentkrav

1. En fremgangsmåte for bestemmelse av elektriske egenskaper av en undervanns petroleumsførende geologisk formasjon (1) under overlagrede geologiske lag (2) med en tykkelse (s) under en sjøbunn (3) i en sjø (4), hvor fremgangsmåten omfatter følgende trinn:
- * anbringelse av en eller flere senderantennener (9) i sjøen (4), og anbringelse av en eller flere elektromagnetiske mottakere (8) i sjøen (4);
 - * anvendelse av senderantennen (9) til utsendelse av elektromagnetiske signaler (10);
 - * anvendelse av mottakerantennene (8) med en offset fra senderantennene (9), for å motta forplantede elektromagnetiske signaler (12) på grunnlag av de utsendte elektromagnetiske signalene (10);
- karakterisert ved
- * at fremgangsmåten utføres hvor sjøen har en dybde (d) på mellom omtrent 50 meter og omtrent 350 meter;
 - * hvor utsendelsen av elektromagnetiske signaler (10) omfattende pulser (11) med veldig lav frekvens mellom omtrent 0,01 Hz og 0,10 Hz;
 - * analyse av en eller flere komponenter av de mottatte signalene (12) for mottakere med offset mellom 1 og 12 km, hvor signalene (12) skiller seg vesentlig fra signalene som ville opptre fra en ellers vannførende geologisk formasjon (1), og som derved indikerer en petroleumsførende formasjon (1).
2. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at det utsendte signalets (10) pulser (11) generelt er firkantpulser omfattende i det minste harmoniske bølger med frekvenser 3 ganger grunnfrekvensen som er detekterbare på de nevnte offset.
3. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at signalene (10) har en bølgelengde (λ) på mer enn 5 ganger tykkelsen (s) av de overlagrede geologiske lag (2).

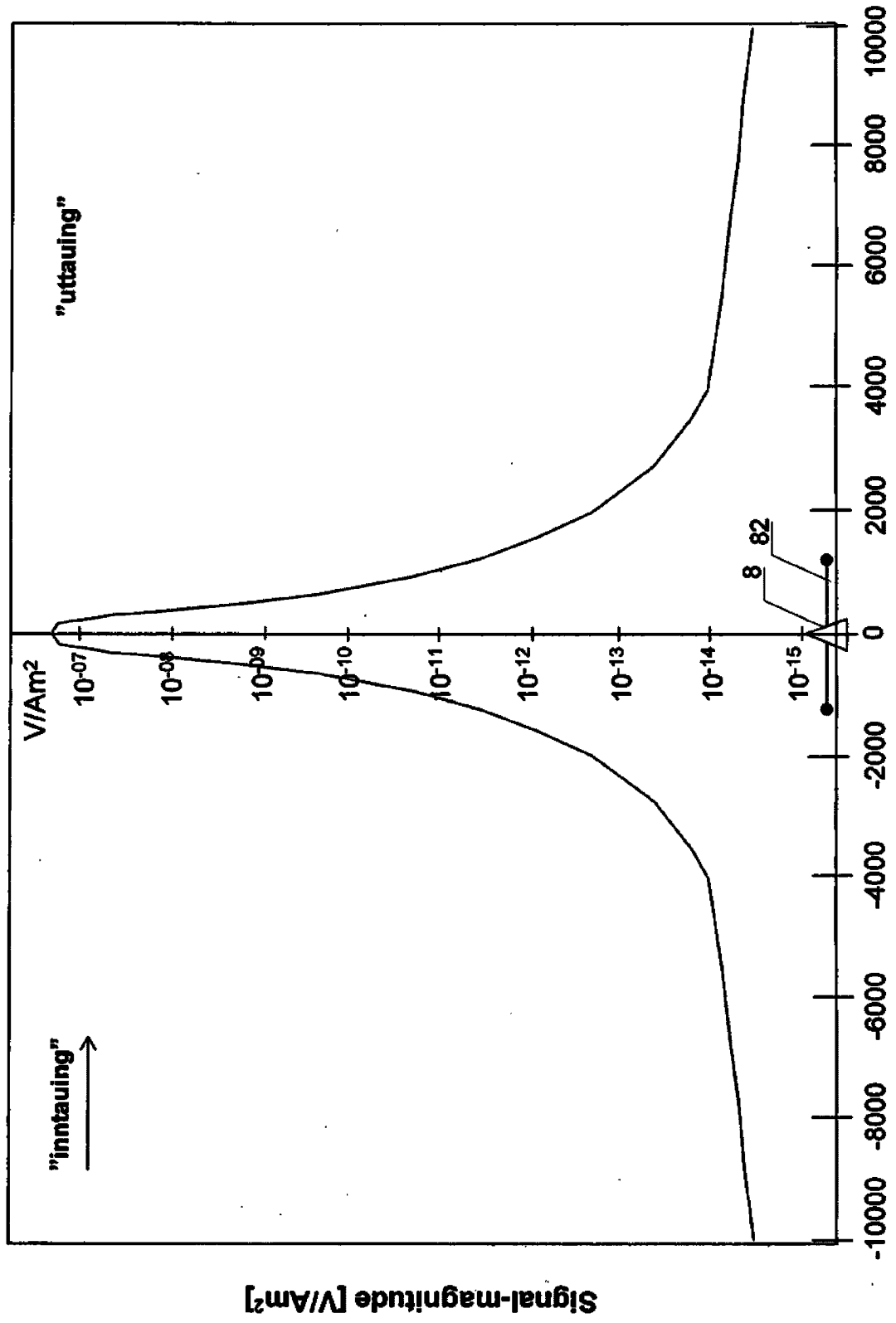
4. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at mottakerne (8) er anordnet på sjøbunnen (3).
- 5 5. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at senderen (9) taukes i sjøen (4).
6. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at senderen (9) taukes på sjøbunnen (3).
- 10 7. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at mottakerne (8) taukes i sjøen (4).
8. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at mottakerne (8) taukes på sjøbunnen (3).
- 15 9. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved at analysen utføres med hensyn til amplituden av de detekterte signalene (12).
- 20 10. Fremgangsmåten ifølge krav 1, karakterisert ved anvendelse av en senderantenne (9) som har en lengde på omtrent 50 m til omtrent 500 m, fortrinnsvis fra omtrent 100 m til omtrent 300 m.
- 25 11. Fremgangsmåten ifølge krav 10, karakterisert ved anvendelse av en senderantenne (9) som fører en elektrisk strøm på mellom omtrent 80 A og 2000 A, fortrinnsvis i området fra 100 A til 1000 A.

12. Fremgangsmåten ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d bruk av en senderantenne (9) med en komponent av et ekvivalent produkt av strøm (I) ganger lengde (L) i den horisontale retning av mellom omtrent 400 Am og omtrent 1000000 Am, fortrinnsvis i området mellom 10000 Am og 300000 Am.

5

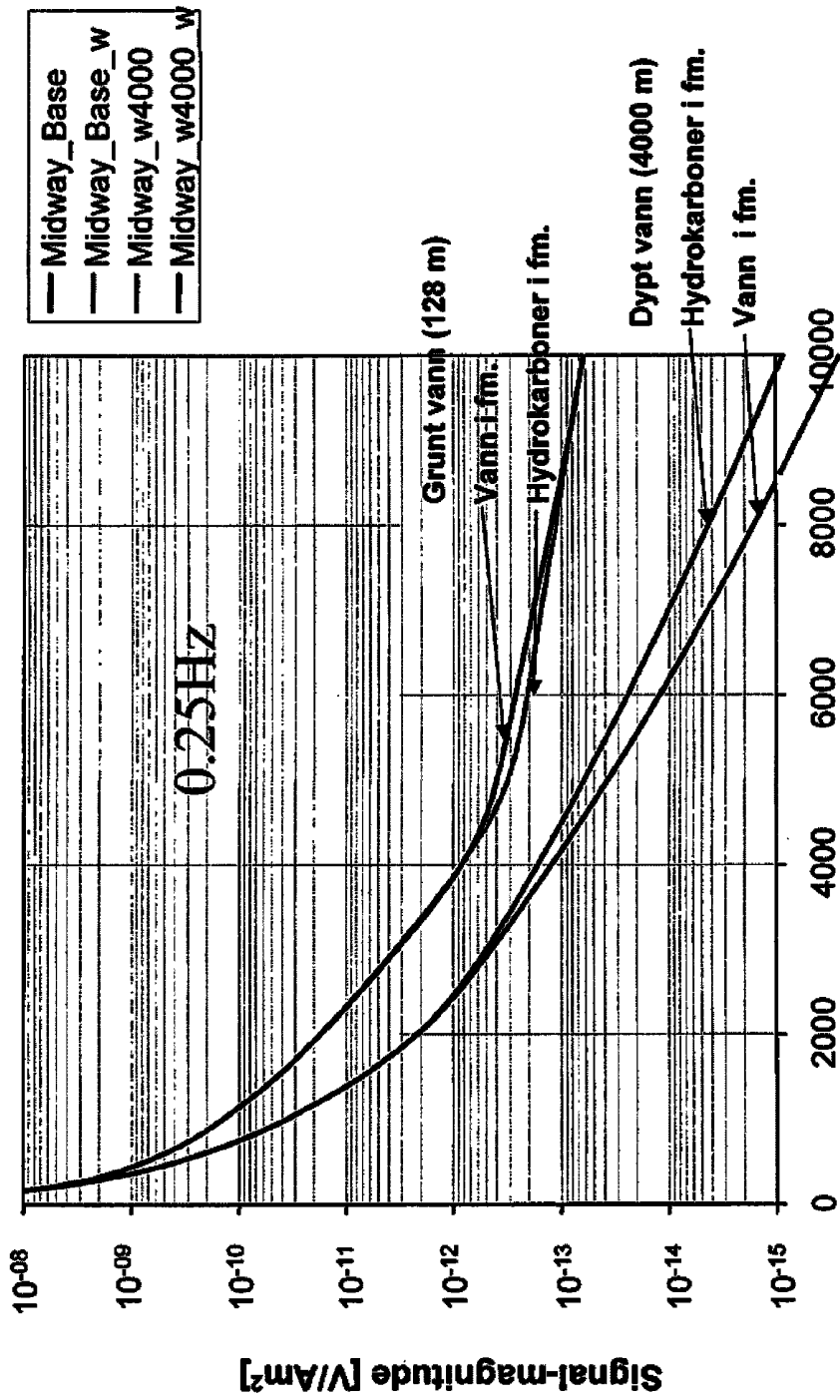
10

15



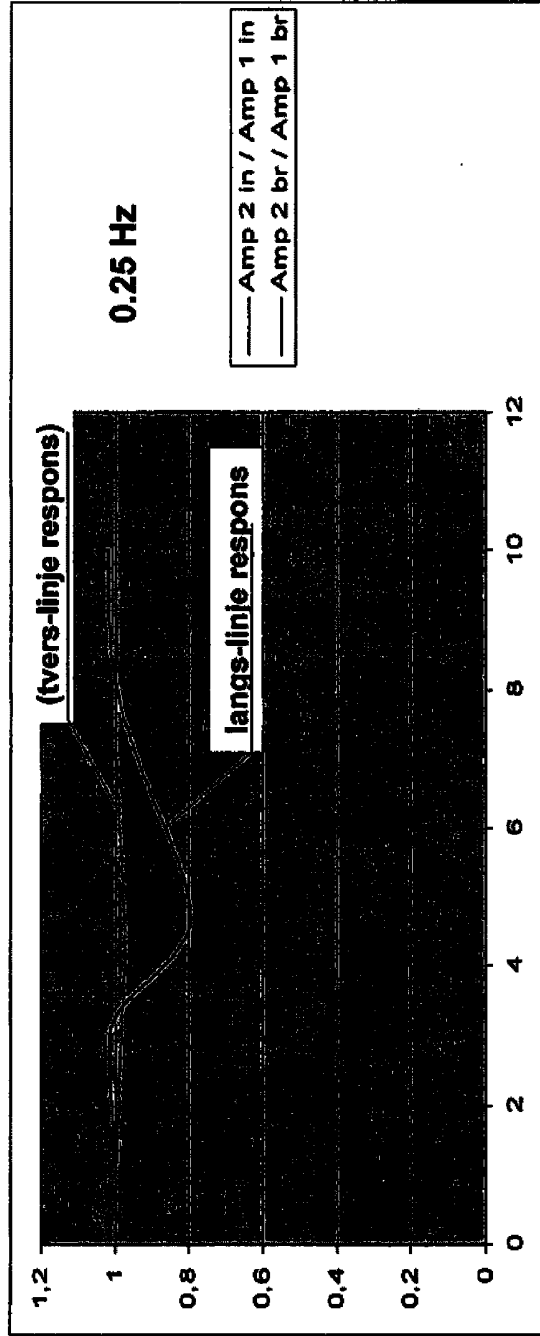
sender offset fra enkelt mottaker [m]

Fig. 1b



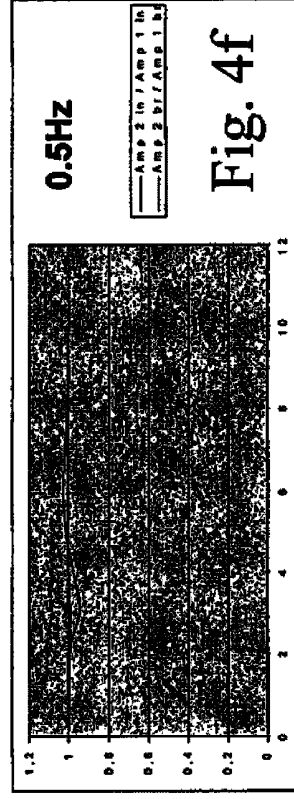
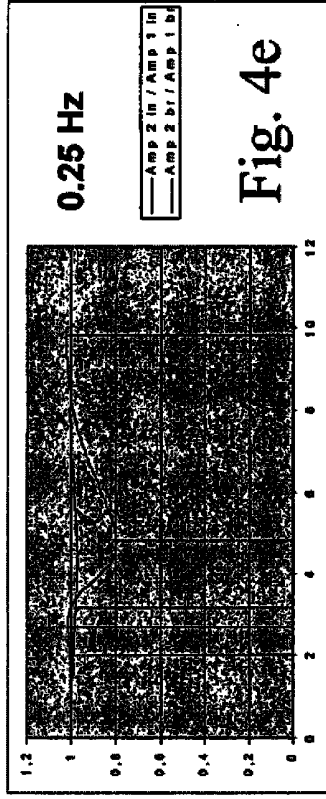
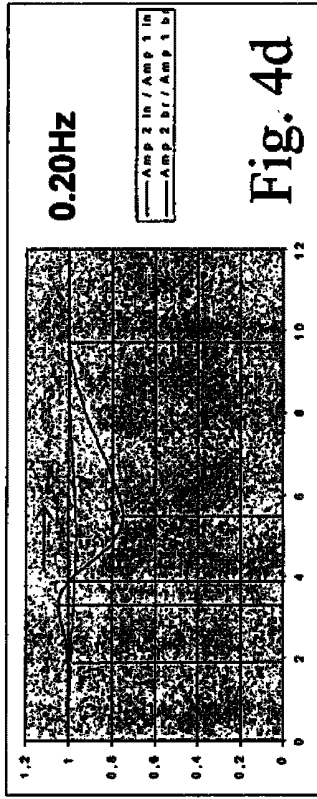
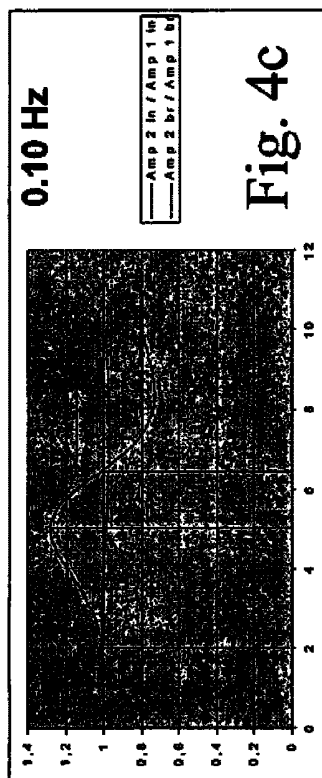
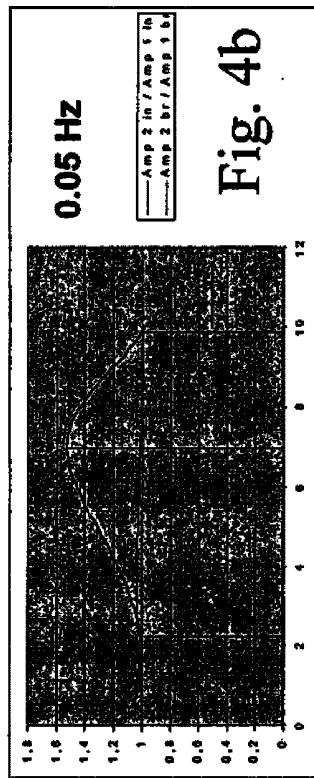
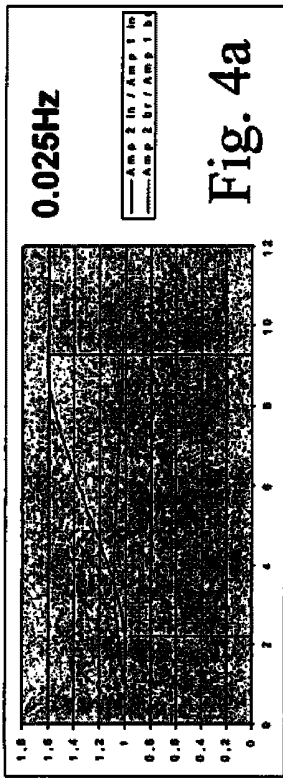
Offset fra enkelt mottaker [m], 1D modellering – 0,25 Hz

Fig. 2



Grunt vann (128 m)

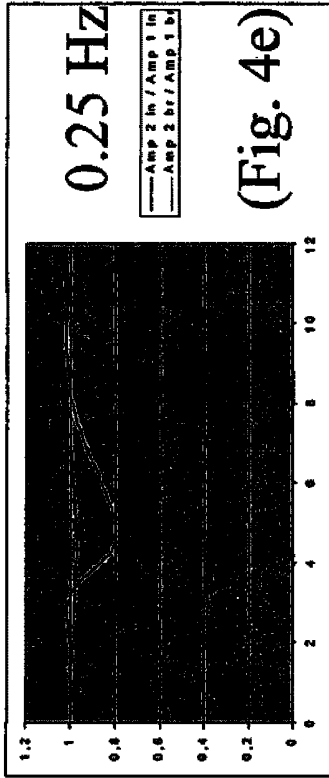
Fig. 3 — normalisert kurve fra Fig. 2



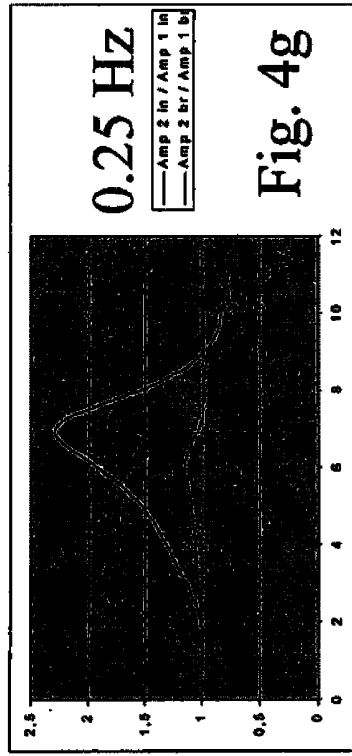
Grunt vann (128 m)

Figs. 4

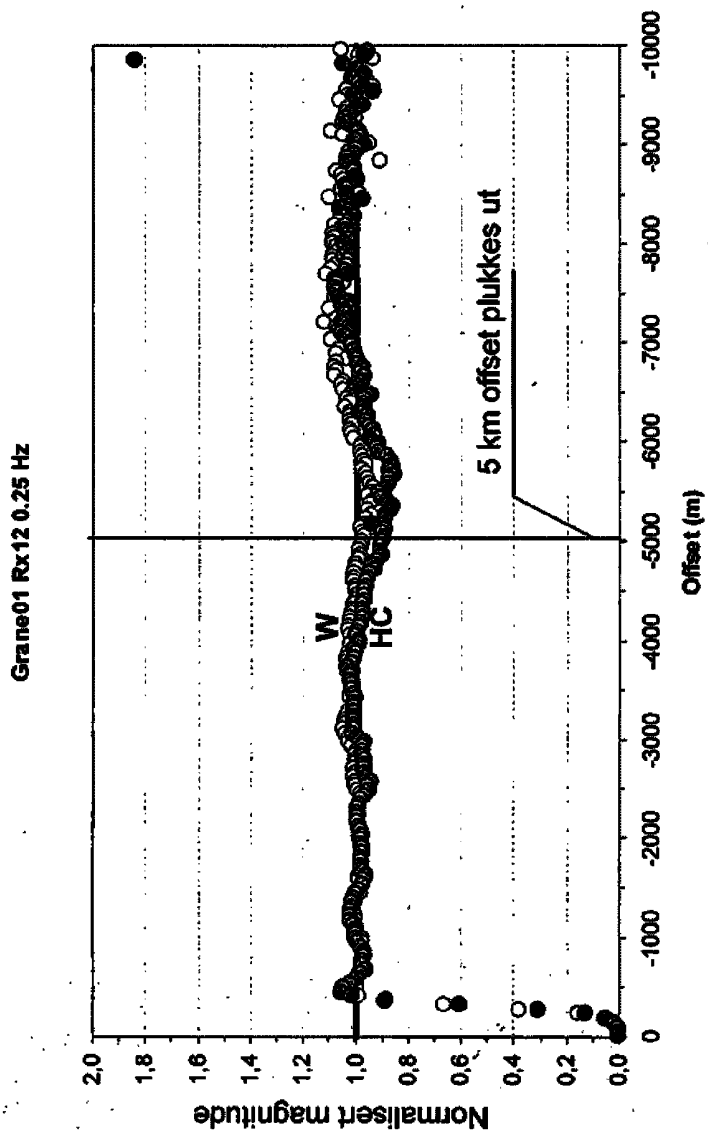
Grunt vann (128 m)



Dypt vann (1024 m)



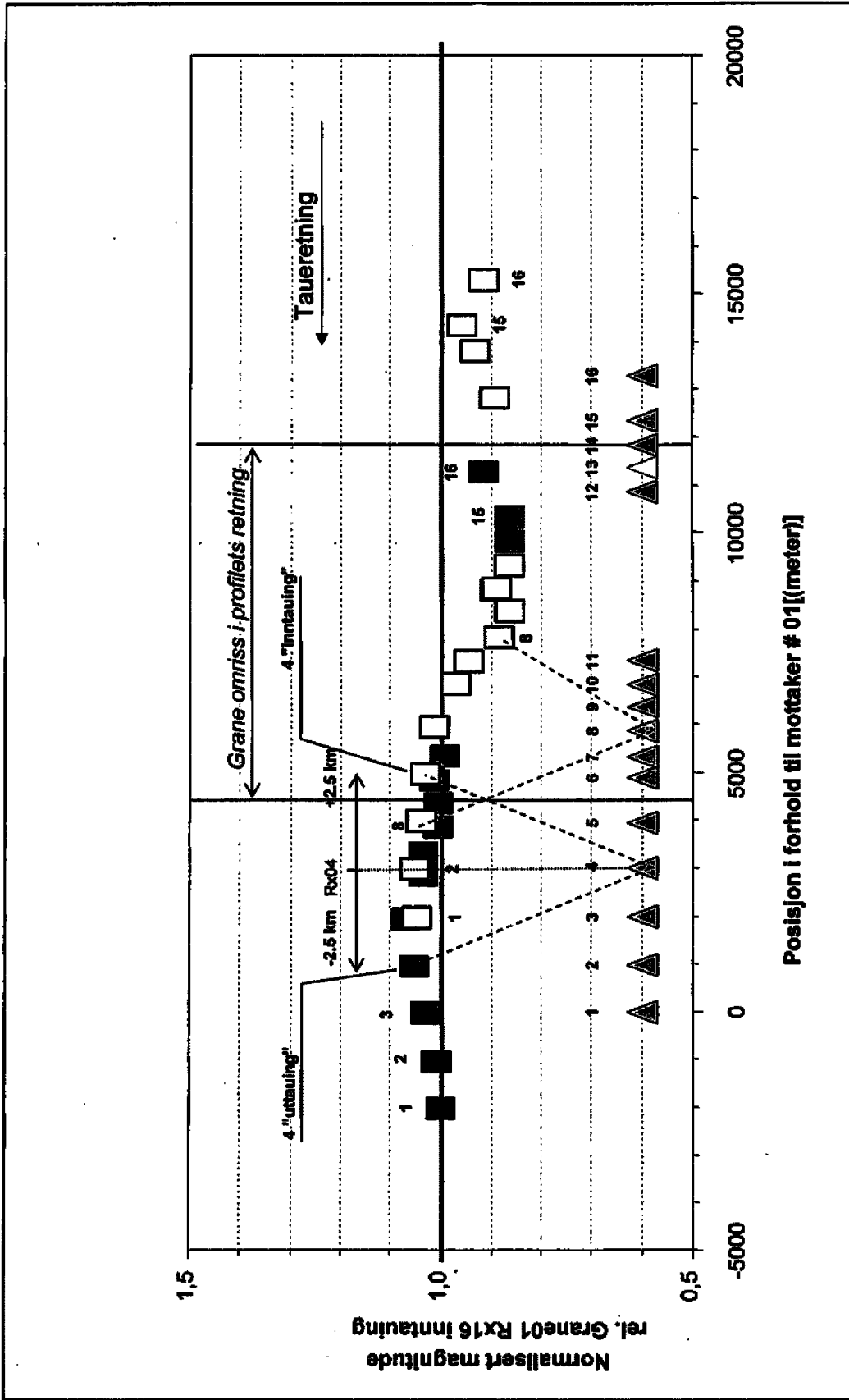
Figs. 4 (forts.)



Normalisert elektrisk magnitudo ved
en enkelt mottaker, Rx12, over
Granefeltet (0,25 Hz).

Fig. 5b

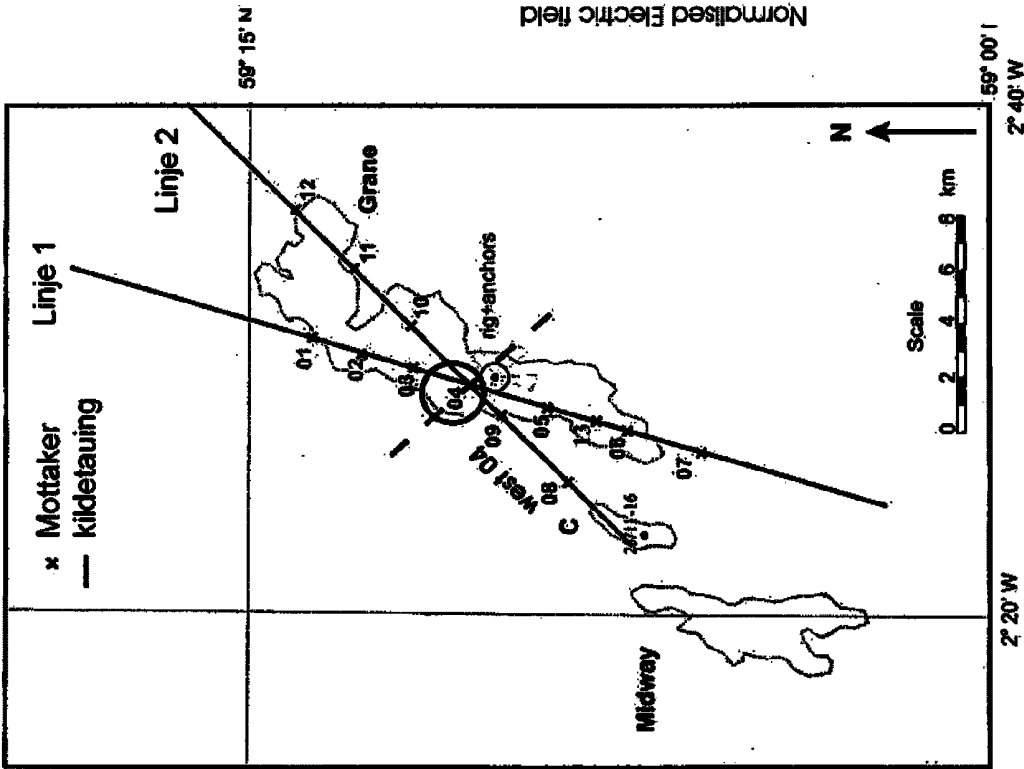
Fig. 5a: Granefeltet - havbunnsloggeprogram 2003



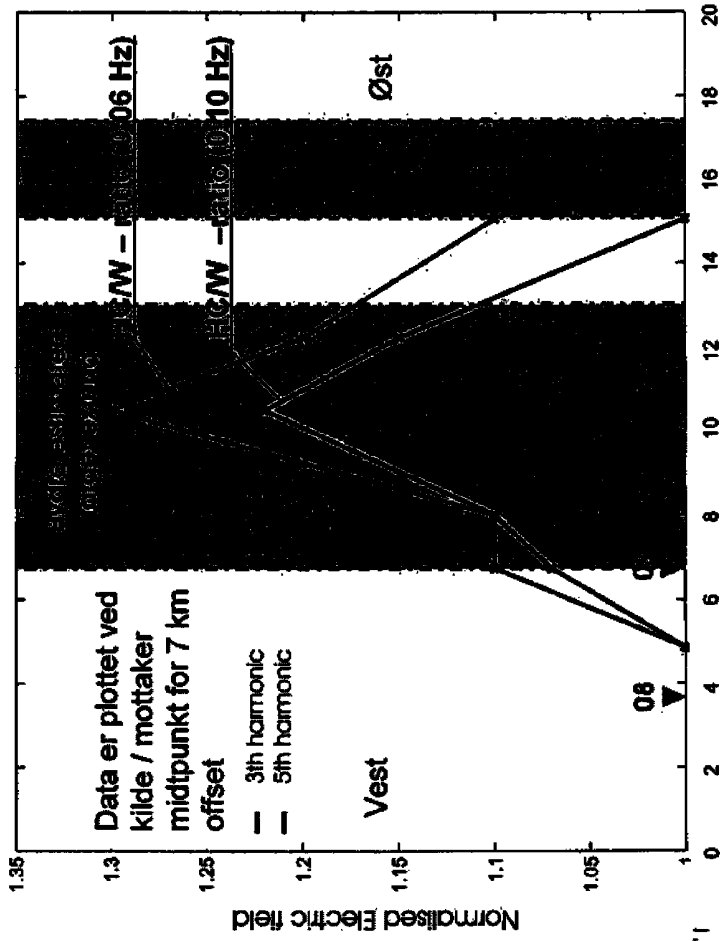
Grane Linje 01 – 2003 normaliserte magnetuder ved 5 km offset, $f=0.25$ Hz

uttauing, plukket verdi ■
 inntauing, plukket verdi □

Fig. 5c



Linje 2: Elektrisk magnitudo for Rx 08, 09, 04, og 10 for 7 km. Offset, normalisert ved vest av Rx04.



Avstand fra starten av tauelinjen [km]

Fig. 6b

Fig. 6a Granefeltet - havbunnsloggeprogram 2004

Amplitude av PEmax $f=0,02$ Hz

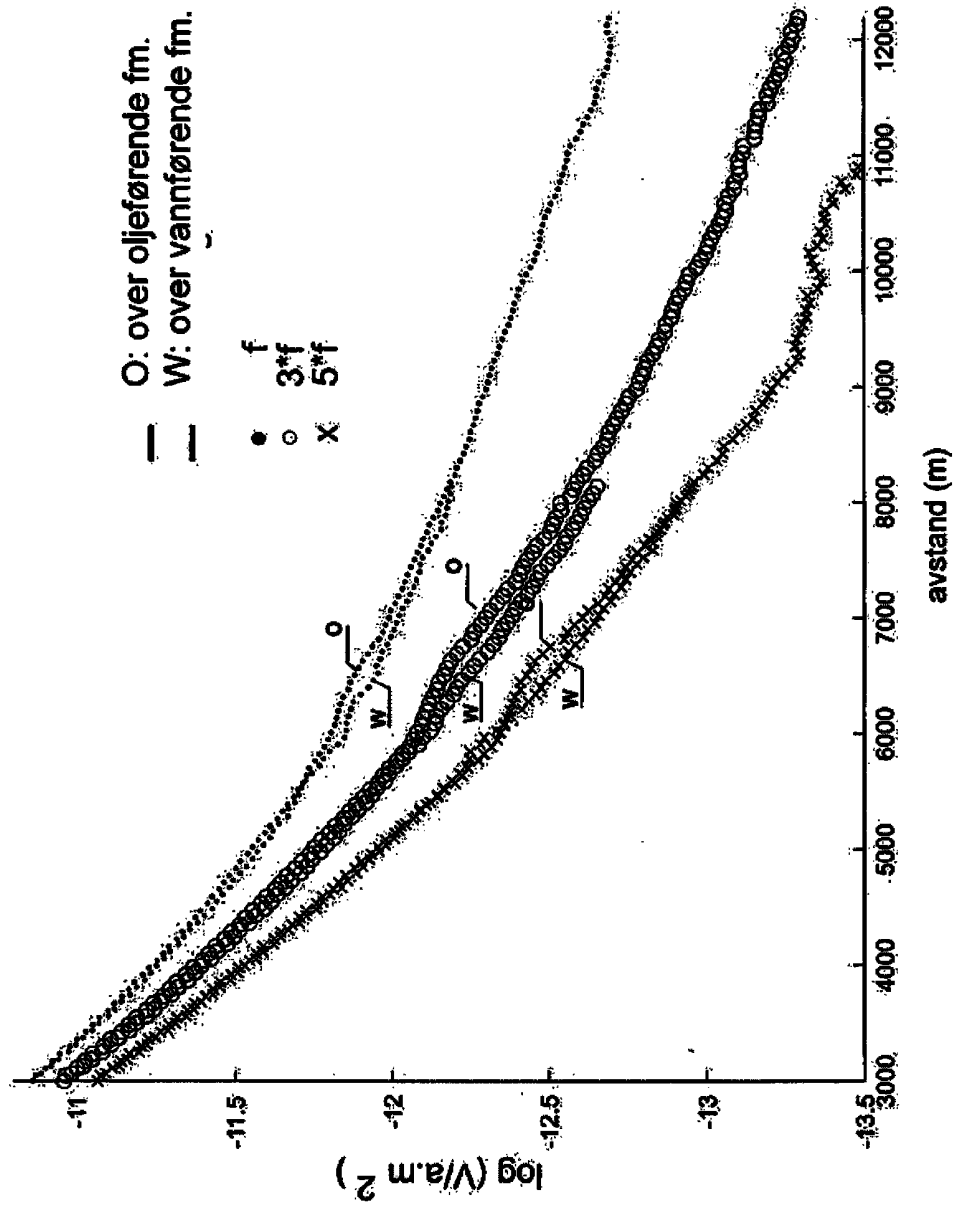


Fig. 6c