



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **324454**

(13) **B3**

NORGE

(51) Int Cl.
G01V 3/12 (2006.01)

Patentstyret

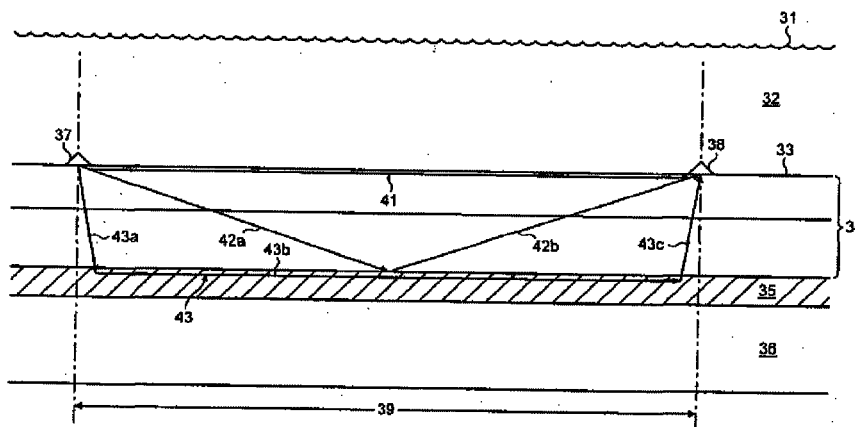
Avvikler fra Patent B1 etter administrativ begrensning

(21)	Søknadsnr	20023656	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2001.02.01 PCT/GB2001/00419
(22)	Inng.dag	2002.08.01	(85)	Videreføringsdag	2002.08.01
(24)	Løpedag	2001.02.01	(30)	Prioritet	2000.02.02, GB, 0002422
(41)	Alm.tilgj	2002.09.30			
(45)	B1 meddelt	2007.10.22			
	Administrativ begrensning	2015.02.16			

(73)	Innehaver	ElectroMagnetic GeoServices AS, Stiklestadveien 1, 7041 TRONDHEIM, Norge
(72)	Oppfinner	Fan-Nian Kong, Langbølgen 71, 1150 OSLO, Norge Harald Westerdahl, Haugerås, 2072 DAL, Norge Svein Ellingsrud, Tyholt allé 9 A, 7052 TRONDHEIM, Norge
(74)	Fullmektig	Terje Eidesmo, Markaplass 5, 7054 RANHEIM, Norge Tandbergs Patentkontor AS, Postboks 1570 Vika, 0118 OSLO, Norge

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å bestemme beskaffenheten av underjordiske reservoarer
(56)	Anførte publikasjoner	US 04617518 A1 US 02077707 A1 US 02077707 A1
(57)	Sammendrag	

Et system for å oppdage et underjordisk reservoar eller å bestemme beskaffenheten av et underjordisk reservoar (35) hvis posisjon og geometri er kjent fra tidligere seismiske undersøkelser. Et elektromagnetisk felt (42, 43) er påført med en sender (37) på sjøbunnen (33) og oppdaget av antennen (38) også på sjøbunnen (33). En brutt bølgekomponent (43, 43c) er søkt etter i bølgefeltresponser, for å bestemme beskaffenheten av ethvert reservoar til stede.



Foreliggende oppfinnelse gjelder en fremgangsmåte og apparat for å bestemme beskaffenheten av undersjøiske og underjordiske reservoarer. Oppfinnelsen er spesielt passende for å bestemme hvorvidt et reservoar, hvor reservoarets tilnærmede geometri og plassering er kjent, inneholder hydrokarboner eller vann, selv om den kan også bli benyttet til å bestemme reservoarer med spesiell karakteristik.

I dag er den mest anvendte teknikken for geologisk kartlegging, spesielt i undersjøiske situasjoner, seismiske fremgangsmåter. Disse seismiske teknikkene er i stand til å avsløre strukturen av de underjordiske lagene med en viss nøyaktighet, imidlertid, selv om en seismisk kartlegging kan avsløre plasseringen og formen av et potensielt reservoar, kan den ikke avsløre beskaffenheten av reservoaret.

Løsningen er derfor å bore et borehull inn i reservoaret. Imidlertid, kostnaden involvert i å bore et prøveboringshull har en tendens til å ligge i området 25 mill. £, og siden suksessraten er normalt 1 til 10, har dette en tendens til å bli en veldig kostbar utførelse.

Fra den nærmeste kjente teknikk skal det vises til patentskriftene US 0 461 758 A1 og US 0 2 077 707 A1, disse gjelder påtrykk av elektromagnetiske felt og deteksjon i mottakere av den bølgerespons som kommer i retur når signalene er reflektert og refraktert i lagene.

Videre angir WO00/00850A et system for å overvåke resistansen i jordlag nær et brønnborehull. Både EM-kilden og mottakere befinner seg i brønnboringen. Systemet er opptatt kun med en situasjon nær brønnboringen og benytter av den grunn høyfrekvens-sendinger.

"Electrical exploration methods for the seafloor", kapittel 12, Electromagnetic Methods i Applied Geophysics Volume 2 (Applications), Soc. Explor. Geophys, M.N. Nabighian (Ed.) (1991) er en oversiktsartikkel av Dr Chave m fl som diskuterer ulike anvendelser av elektromagnetiske fremgangsmåter innbefattet magnetotellurikk, like-spenningsresistans, magnetometrisk resistans og kontrollert kilde EM.

Med dette som bakgrunn har man ifølge oppfinnelsen konsentrert deteksjonen til refrakterte brutte bølger som går langs strata med hydrokarboninnholdende underjordiske reservoarer.

Ifølge oppfinnelsen løses de overnevnte problemer ved en fremgangsmåte angitt i krav 1 og som har de karakteristiske trekk som er angitt i den kjennetegnende del av kravet; og en fremgangsmåte angitt i krav 16 og som har de karakteristiske trekk som er angitt i den kjennetegnende del av kravet.

Det er derfor et formål med oppfinnelsen å fremskaffe et system for å bestemme, med større sikkerhet, beskaffenheten av underjordiske reservoarer uten nødvendigheten av å bore et borehull.

I henhold til ett aspekt av oppfinnelsen er det fremskaffet en fremgangsmåte for å gjennomføre undersøkelse av underjordiske strata for å søke etter et hydrokarbon-inneholdende undersjøisk reservoar, eller for å bestemme beskaffenheten av et undersjøisk reservoar hvis tilnærmede geometri og plassering er kjent. Denne fremgangsmåte kjennetegnes særlig ved å påtrykke et tidsvarierende elektromagnetisk felt på det underjordiske laget, å detektere den elektromagnetiske bølgefeltresponsen, å søke i bølgefeltresponsen etter en komponent som representerer en brutt bølge, og å bestemme tilstedeværelse og/eller beskaffenheten av ethvert reservoar identifisert basert på tilstedeværelse eller ikke av en brutt bølgekomponent, der det sendte feltet er i form av en bølge og avstanden mellom senderen og en mottaker er gitt med formelen $0,5\lambda \leq l \leq 10\lambda$, hvor λ er bølgelengden av sendingen gjennom overdekningen og l er avstanden mellom senderen og mottakeren.

Det er blitt innsett av den foreliggende søker at mens seismiske egenskaper av oljefylte lag og vannfylte lag ikke er så forskjellige, er deres elektromagnetiske motstandsevne (permittivitet) forskjellig. Derved, ved å benytte en elektromagnetisk kartleggingsfremgangsmåte, kan disse forskjellene bli utnyttet og suksessraten i å bestemme beskaffenheten av et reservoar kan bli økt betydelig. Dette representerer muligens en enorm kostbesparelse.

Foreliggende oppfinnelse kommer av en forståelse av det faktum at når et elektromagnetisk felt påført på underjordiske lag som inkluderer et reservoar, i tillegg til en direkte bølgekomponent og en reflektert bølgekomponent fra reservoaret, vil det detekterte bølgefeltsvaret inkludere en "brutt" bølgekomponent fra reservoaret. Reservoaret som inneholder hydrokarbon fungerer på en måte som en bølgeleder. Imidlertid, for formålet med denne beskrivelse vil bølgen bli referert til som en "brutt bølge", uavhengig av de spesielle mekanismene som faktisk gjelder.

En brutt bølge oppfører seg annerledes avhengig av befatningen av laget i hvilket den forplanter seg i. Spesielt er forplantningstapet i hydrokarbonlag mye lavere enn i vannbærende lag, mens hastigheten av forplantningen er mye høyere. Derved, når et oljebærende reservoar er til stede, og et elektromagnetisk felt er påført, kan en sterk og hurtig forplantet brutt bølge bli oppdaget. Dette kan derfor indikere tilstedeværelse av reservoaret eller dets beskaffenhet hvis reservoarets tilstedeværelse er allerede kjent. Derfor inkluderer fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen ytterligere det trinn av å analysere effektene på enhver oppdaget brutt bølgekomponent som har blitt forårsaket av reservoaret for å kunne bestemme ytterligere innholdet av reservoaret basert på analysen.

Fortrinnsvis er det påførte elektromagnetiske feltet polarisert, og polariseringen er som om den var dannet av in-line horisontale sendere og mottakerantenner.

Hvis forskyvningen mellom senderen og mottakeren er betydelig større enn tre ganger dybden av reservoaret fra sjøbunnen (dvs. tykkelsen av overdekningen), vil det anses at dempningen av den brutte bølgen ofte vil være mindre enn for den direkte bølge og den reflekterte bølgen. Årsaken til dette er det faktum at banen til den brutte bølgen vil være den effektive avstanden fra senderen ned til reservoaret, dvs. tykkelsen av overdekningen, pluss forskyvningen langs reservoaret, pluss distansen fra reservoaret opp til mottakeren, dvs. igjen tykkelsen av overdekningen.

Polariseringen av kildesendingen vil bestemme hvor mye energi som sendes inn i det oljebærende laget i retning av mottakeren. En dipolantenne er derfor den foretrukne senderen, selv om enhver sender som er i stand til å generere et passende polarisert felt kan bli benyttet. Vanligvis er det å foretrekke å ta i bruk en dipol med en stor effektiv lengde. Senderdipolen kan derfor være 100 til 1000 meter i lengde, og kan være 10 til 1000 meter fortrinnsvis tverrpolarisert. Mottakerdipolens optimale lengde er bestemt av tykkelsen av overdekningen.

Teknikken er anvendelig ved undersøkelser av landbaserte underjordiske reservoarer, men er spesielt anvendelig for undersjøiske, spesielt undervanns, underjordiske reservoarer. Fortrinnsvis er feltet påført ved å bruke en eller flere sendere plassert på jordoverflaten, og deteksjonen er utført ved hjelp av en eller flere mottakere plassert på jordoverflaten. I en foretrukket anvendelse er senderen(e) og/eller mottakerne plassert på eller i nærheten til sjøbunnen eller bunnen av et annet område med vann. I praksis vil det være en eneste sender og en samling av mottakere, idet senderen(e) og mottakerne er dipolantenner eller spoler, selv om andre former for sendere/mottakere kan bli benyttet. Senderen kan være i en eksisterende borebrønn. Også, dersom en forbedret retningsstyring av det utsendte feltet er ønskelig, kan et mangfold av sendere med fasejustering bli benyttet.

I ett arrangement, er en eneste sender og flere mottakere anordnet på en eneste kabel som er lagt i den påkrevde posisjon på sjøbunnen av et overflate- eller undervannsfartøy. Disse kan deretter bli flyttet til en annen plassering. I et annet arrangement har flere mottakere faste posisjoner på sjøbunnen. Senderen kan bli flyttet til forskjellige posisjoner. I et tredje arrangement kan en sender være posisjonert av et første fartøy mens et annet fartøy plasserer en eller flere mottakere. Dette gir fleksibilitet i posisjoneringen av både sender og mottakere. I et fjerde arrangement er senderen beliggende i en eksisterende borebrønn mens mottakerne kan utgjøre en fast matrise eller de kan være flyttbare.

Det vil innses at den foreliggende oppfinnelse kan bli benyttet for å bestemme posisjonen, utstrekningen, beskaffenheten og volumet av et spesielt lag, og også kan bli benyttet til å oppdage endringer i disse parametrene over en tidsperiode.

Elektromagnetiske undersøkelsesteknikker i seg selv er kjent. Imidlertid, de er ikke brukt så mye i praksis. Vanligvis ligger reservoarene som er interessante rundt 1 kilometer eller mer under sjøbunnen. For å kunne gjennomføre elektromagnetisk undersøkelse som en selvstendig teknikk under disse forhold, med en fornuftig grad av oppløsning, er korte bølgelengder nødvendig. Uheldigvis, slike korte bølgelengder lider av meget høy dempning. Lange bølgelengder fremskaffer ikke tilstrekkelig oppløsning. Av disse grunner er seismiske teknikker foretrukket.

Imidlertid, mens lange bølgelengder påført med elektromagnetiske teknikker ikke kan fremskaffe tilstrekkelig informasjon til å sørge for nøyaktig indikasjon av grensene til de forskjellige lagene, hvis den geologiske strukturen allerede er kjent, kan de bli benyttet til å bestemme beskaffenheten av en spesielt identifisert formasjon, hvis mulighetene for beskaffenheten av denne formasjonen har betydelig forskjellige elektromagnetisk egenskaper. Oppløsningen er ikke spesielt viktig og lengre bølgelengder som ikke lider av sterk dempning kan bli benyttet.

Motstandsevnen til sjøvann er ca. 0,3 ohm-m og motstandsevnen for overdekningen under sjøbunnen vil typisk være fra 0,3 til 4 ohm-m, f.eks. rundt 2 ohm-m. Imidlertid, motstandsevnen til et oljereservoar vil sannsynligvis til å være rundt 20 til 300 ohm-m. Denne store forskjellen kan bli utnyttet ved å bruke teknikkene til foreliggende oppfinnelse. Typisk vil motstandsevnen til en hydrokarbonbærende formasjon være 20 til 300 ganger større enn for en vannbærende formasjon.

På grunn av forskjellige elektromagnetiske egenskaper til en gass/oljebærende formasjon og en vannbærende formasjon, kan man forvente en refleksjon og brytning av det utsendte feltet ved grensen av en gass/oljebærende formasjon. Imidlertid, likheten mellom egenskapene av overdekningen og et reservoar som inneholder vann betyr at ingen refleksjon eller brytning sannsynligvis vil inntreffe.

Det utsendte feltet kan være pulset, imidlertid, en sammenhengende kontinuerlig bølge med avtrappede frekvenser er foretrukket. Den kan være sendt i en betydelig tidsperiode, under hvilken senderen fortrinnsvis skal være stasjonær (selv om den kan bli beveget sakte), og sendingen stabil. Derved kan feltet bli sendt for en tidsperiode fra 3 sekunder til 60 minutter, fortrinnsvis fra 3 til 30 minutter, f.eks. rundt 20 minutter. Mottakerne kan også være anordnet til å detektere en direktebølge og en bølge brutt fra reservoaret, og analysen kan innbefatte uttrekning av fase- og amplitudedata for den brutte bølgen ut fra tilsvarende data fra den direkte bølgen.

Fortrinnsvis er bølgelengden av sendingen gitt ved formelen

$$0.1s \leq \lambda \leq 10s,$$

hvor λ er bølgelengden av sendingen gjennom overdekningen og s er distansen fra sjøbunnen til reservoaret. Fortrinnsvis er λ fra rundt 0,5 s til 2 s. Sendingsfrekvensen kan være fra 0,01 Hz til 1 kHz, fortrinnsvis fra 1 til 20 Hz, f.eks. 5 Hz.

I et foretrukket system utføres en første sending på en første frekvens og mottas av hver mottaker i en avstemt oppstilling av mottakere, deretter utføres en andre sending på en andre frekvens og mottas av den samme avstemte oppstilling av mottakere, idet mottakerne er avstemt til å motta sine respektive sendinger. Dette vil
5 sannsynligvis bli repetert flere ganger, selv om det kan bli utført bare en gang.

Fortrinnsvis inkluderer analysen å sammenligne resultatene av de utførte målingene med resultatene av en matematisk simuleringsmodell basert på de kjente egenskapene til reservoaret og overdekningsforholdene.

Fortrinnsvis er avstanden mellom senderen og en mottaker gitt ved formelen
10 $0,5 \lambda \leq l \leq 10 \lambda$,

hvor λ er bølgelengden av sendingen gjennom overdekningen og l er avstanden mellom senderen og den første mottakeren.

Gitt at avstandene og geometrien av reservoaret er kjent fra tidligere seismiske undersøkelser, vil en optimal λ og l bli utvalgt.

Fortrinnsvis er analysemidlene anordnet for å analysere fase og amplitude. Dataene kan bli analysert ved å bruke tidsdomene- og frekvensdomeneteknikker, og andre pulsskjerpende teknikker. Derved kan dataene bli gjort for å etterape seismiske data slik at konvensjonelle seismiske etterprosesseringsteknikker kan bli benyttet.
15

Hvis et sted av interesse betraktes, kan en matematisk modelleringsoperasjon bli utført. Derved, de forskjellige relevante parametrene, slik som dybde og forventet motstandsevne av de forskjellige kjente lagene i overdekningen er benyttet i den matematiske modellen og de forventede resultatene er kalkulert i avhengighet om hvorvidt en formasjon under vurdering er oljebærende eller vannbærende. De teoretisk forutsatte resultatene kan deretter bli sammenlignet med de faktiske resultatene
20 oppnådd i felten for å kunne bestemme beskaffenheten til formasjonen.

Foreliggende oppfinnelse omfatter også en fremgangsmåte for å undersøke underjordiske lag som omfatter utførelse av en seismisk undersøkelse for å bestemme den geologiske strukturen av en region, og hvor denne undersøkelsen avslører tilstedeværelse av et underjordisk reservoar, og senere å utføre en fremgangsmåte som
25 beskrevet ovenfor.

Oppfinnelsen kan bli utført i praksis på forskjellige måter og noen utførelser vil nå bli beskrevet i forbindelse med noen utførelseseksempler og under henvisning til tegningene, der

Figur 1 er et skjematisk diagram av en eksperimentell teknikk som verifiserer prinsippene for oppfinnelsen, og figur 2 er en skjematisk seksjon av et system i henhold til oppfinnelsen.
35

Figur 1 viser en testtrigg som omfatter en tank 11 fylt med sjøvann og et simulert oljeførende lag, i form av et diafragma 12 fylt med ferskvann. Diafragmaet 12

er opphengt over bunnen av tanken 11. En sender 13 og en mottaker 14 er montert på respektive vertikale stolper 15, 16 hengende fra en bom 17. Stolpene har en konstant avstand L mellom seg og senderen 13 og mottakeren 14 er vertikalt bevegelige opp og ned langs sine stolper 15, 16.

5 Når senderen 13 og mottakeren 14 er i posisjonen vist med heltrukne linjer, er følsomheten av mottakeren justert slik at dempningen i sjøvannet er slik at den direkte bølgen 18 ikke kan detekteres. Selvfølgelig vil den reflekterte bølge 19 også være dempet så mye at den også ikke vil bli oppdaget, gitt den større avstanden den må gå gjennom sjøvannet.

10 Senderen 13 og mottakeren 14 senkes deretter ned sammen, og sendinger utføres med mellomrom. På en spesiell dybde indikert med stiplede linjer detekterer mottakeren 14' et sterkt signal som følge av en sending fra senderen 13'. Dette kan ikke være en direkte bølge, og heller ikke en reflektert bølge, på grunn av dempningen av sjøvannet. Det ble derfor konkludert med at den eneste banen som bølgen kan ha tatt
15 var gjennom diafragmaen 12. Dette er vist som en brutt bølge 21.

Den avstand som tilbakelegges gjennom sjøvannet er relativt kort, og mens bølgen beveget seg en viss lengde gjennom ferskvannet i diafragmaen 12, var dempningen betydelig mindre enn den ville ha vært gjennom den samme distansen i sjøvann. Dermed var den totale dempning mindre enn for den direkte bølge 18, og den
20 brutte bølge 21 ble detektert.

Et mer praktisk eksempel er vist i figur 2. Overflaten av sjøen er vist ved 31 med sjøen 32 som strekker seg ned til sjøbunnen 33. Det er en overdekning 34, et oljeførende lag 35 og et nedre lag 36. Denne strukturen er kjent fra seismiske undersøkelser, men beskaffenheten av lagene er ikke kjent. En sender er vist skjematisk
25 ved 37 på sjøbunnen 33 og en mottaker tilsvarende ved 38. De er innbyrdes atskilt med en forskyvning 39.

Senderen 37 er i form av en dipolantenne som er innrettet til å sende en elektromagnetisk bølge som er polarisert på en slik måte at den radiale E-komponenten forløper stort sett langs linjen til mottakeren. Dette resulterer i en direkte bølge 41 som
30 forplanter seg i sjøvannet langs overflaten av overdekningen, og en reflektert bølge 42a og 42b som fortsetter gjennom overdekningen 34, treffer toppoverflaten av det oljeførende laget 35 og reflekteres. Delene som mottas av mottakeren 38 er indikert.

Den sendte bølgen resulterer også i en brutt bølge 43. Denne er dannet av en nedoverpekende del 43a som går ned gjennom overdekningen 34, en brutt del 43b som
35 beveger seg langs laget 35, og en oppoverpekende del 43c som går tilbake opp gjennom overdekningen 34. Siden den brutte delen 43b beveger seg mye raskere gjennom det oljeførende laget 35 og med mye mindre dempning, blir den brutte bølgen

43 detektert først av detektoren 38 og med et relativt høyt signalnivå, sammenlignet med den direkte bølgen 41 og den reflekterte bølgen 42a, 42b.

Den brutte bølgen 43 er spesielt tilpasset for å bestemme grensene til et oljereservoar, f.eks. laget 35, hvis dets dybde under sjøbunnen 33 er kjent. Dette er på grunn av det faktum at den nedoverpekende delen 43a av den brutte bølgen 43 stort sett treffer laget 35 ved den kritiske vinkel, som er ca. 10° for en oljeførende bergart. Med vinkler større enn rundt 15° , inntreffer total refleksjon ved overflaten av laget 35.

Dermed, ved å benytte seg av forskjellige posisjoner for mottakeren 38, kan grensene til oljereservoaret bli bestemt, ved fraværet av en oppstått brutt bølgedel 43c, med nøyaktighet.

Denne teknikken er også bekvemt egnet til å overvåke endringer i et reservoar over en tidsperiode. Fraværet av en detektert brutt bølge vil bety at grensen til oljereservoaret har flyttet seg og oljeinnholdet uttømt.

I testutformingen vist i figur 2 er sjøbunnen 1000 m tykk, og har en motstandsevne på 2 ohm-m. Hydrokarbonlaget er ca. 50 til 100 m tykt og har en motstandsevne på 50 til 100 ohm-m.

Hvis følgende parametere deretter velgest: distanse mellom senderantennen og mottakerantennen = 4000 meter, frekvens = 1,25 Hz, senderantennens og mottakerantennens effektive lengde $L_T, L_R = 500$ m (antennens fysiske lengde 1000 m), senderstrøm 200 A, da vil det mottatte signalet (direktebølgen) bli ca., 5 μ V. Med en frekvens = 2,5 Hz blir den mottatte spenning ca. 0,5 μ V.

Når hydrokarbonlaget har tilstrekkelig stor bredde, kan man forvente at den brutte bølgen vil være sterkere enn direktebølgen.

P a t e n t k r a v

1 En fremgangsmåte for å gjennomføre undersøkelse av underjordiske strata for å
søke etter et hydrokarboninnholdende undersjøisk reservoar (35), eller for å bestemme
5 beskaffenheten av et undersjøisk (35) reservoar hvis tilnærmede geometri og plassering
er kjent, som omfatter:

- å påtrykke et tidsvarierende elektromagnetisk felt på underjordiske lag,
- å detektere den elektromagnetiske bølgefeltresponsen,
- å søke i bølgefeltresponsen etter en komponent som representerer en brutt bølge
10 (43,43C), og
- å bestemme tilstedeværelsen og/eller beskaffenheten av ethvert reservoar (35) som
identifiseres basert på tilstedeværelse eller ikke av en brutt bølgekomponent (43,43C),
der det sendte feltet er i form av en bølge og avstanden mellom senderen og en mottaker
er gitt ved formelen

$$0,5\lambda \leq l \leq 10\lambda,$$

15 hvor λ er bølgelengden av sendingen gjennom overdekningen (34) og l er
avstanden mellom senderen (37) og mottakeren (38).

20 2 En fremgangsmåte i henhold til krav 1,
karakterisert ved det ytterlige trinn med å analysere effektene på enhver oppdaget brutt
bølgekomponent (43,43C) som har blitt forårsaket av reservoaret (35) for å bestemme
videre innholdet av reservoaret (35) basert på analysen.

25 3 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at det påførte elektromagnetiske feltet er polarisert.

30 4 En fremgangsmåte i henhold til krav 3,
karakterisert ved at polariseringen er slik at E-felt-komponenten er dannet av en
horisontal dipol i retningen mot mottakeren.

5 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at feltet er påført ved å bruke en eller flere stasjonære sendere (37).

35 6 En fremgangsmåte i henhold til krav 5,
karakterisert ved at en stasjonær sender (37) er plassert i en eksisterende borebrønn.

7 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at deteksjonen utføres av en eller flere stasjonære mottakere (38).

8 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene 5 til 7,
 5 **karakterisert ved** at senderen (37) og/eller mottakerne (38) er plassert på eller nær sjøbunnen eller bunnen av et annet område med vann.

9 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at feltet er sendes i en tidsperiode fra 3 sekunder til 60 minutter.

10

10 En fremgangsmåte i henhold til krav 9,
karakterisert ved at sendetiden er fra 3 minutter til 30 minutter.

15

11 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at bølgelengden av sendingen er gitt ved formelen

$$0,1s \leq \lambda \leq 10s,$$

20

hvor λ er bølgelengden av sendingen gjennom overdekningen (34) og s er
 avstanden fra sjøbunnen (33) til reservoaret (35).

12 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at sendingsfrekvensen er fra 0,01 Hz til 1 kHz.

25

13 En fremgangsmåte i henhold til krav 12,
karakterisert ved at sendingsfrekvensen er fra 1 til 20 Hz.

30

14 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene 2 til 10,
karakterisert ved at en første sending utføres med en første frekvens og mottas av hver
 mottaker i en avstemt oppstilling av mottakere, og at en andre sending deretter utføres
 med en andre frekvens og mottas av den samme avstemte oppstilling av mottakere, hvor
 mottakerne er avstemt til å motta sine respektive sendinger.

35

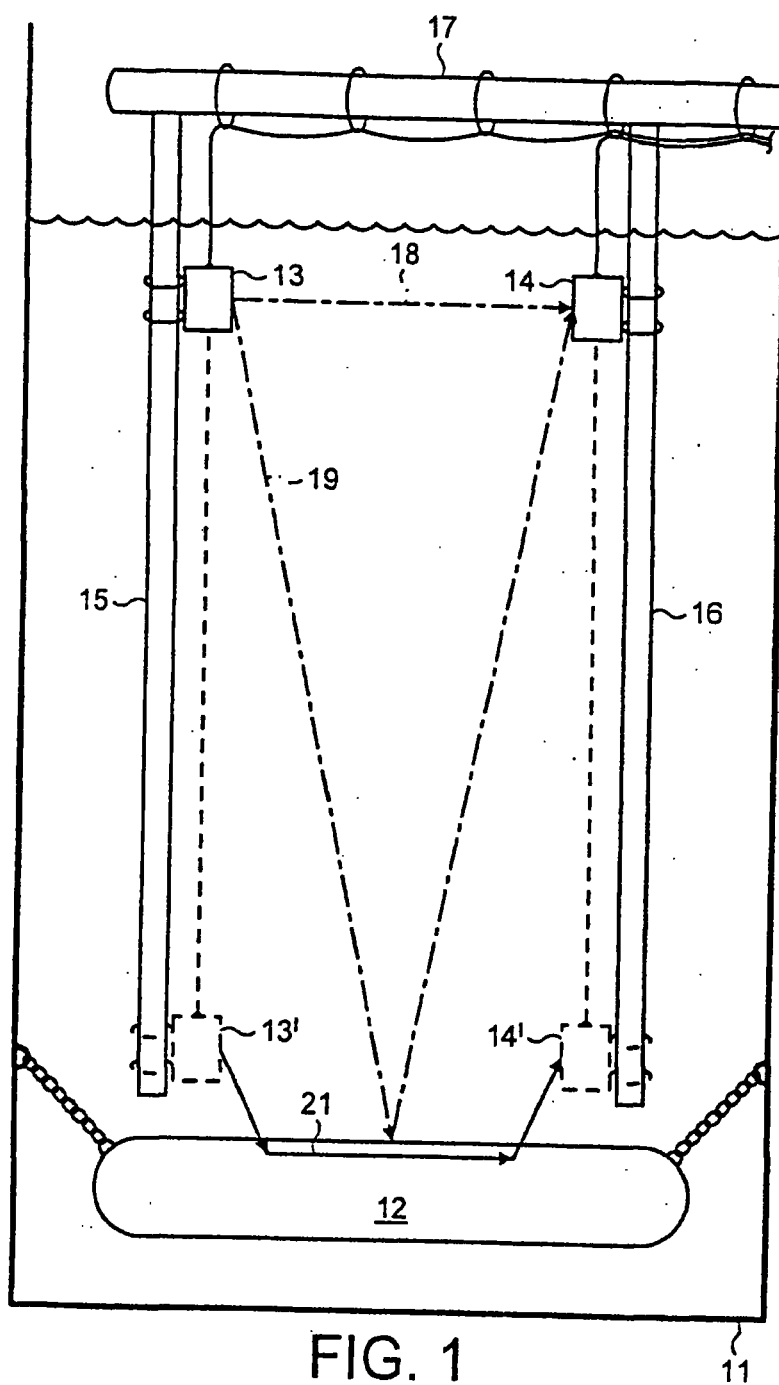
15 En fremgangsmåte i henhold til ett av kravene ovenfor,
karakterisert ved at den videre inkluderer trinnet med å sammenligne resultatene av
 målingene som er utført med resultatene av en matematisk simuleringsmodell basert på
 de kjente egenskapene til reservoaret og overdekningens forfatning.

16 En fremgangsmåte for å undersøke underjordiske lag som omfatter

- å gjennomføre en seismisk undersøkelse for å bestemme den geologiske strukturen av en region, og

- 5 - der hvor denne undersøkelsen avslører tilstedeværelse av et undersjøisk reservoar (35), senere å utføre en fremgangsmåte i henhold til ett av kravene 1 til 15 for å bestemme beskaffenheten av reservoaret.

1 / 2



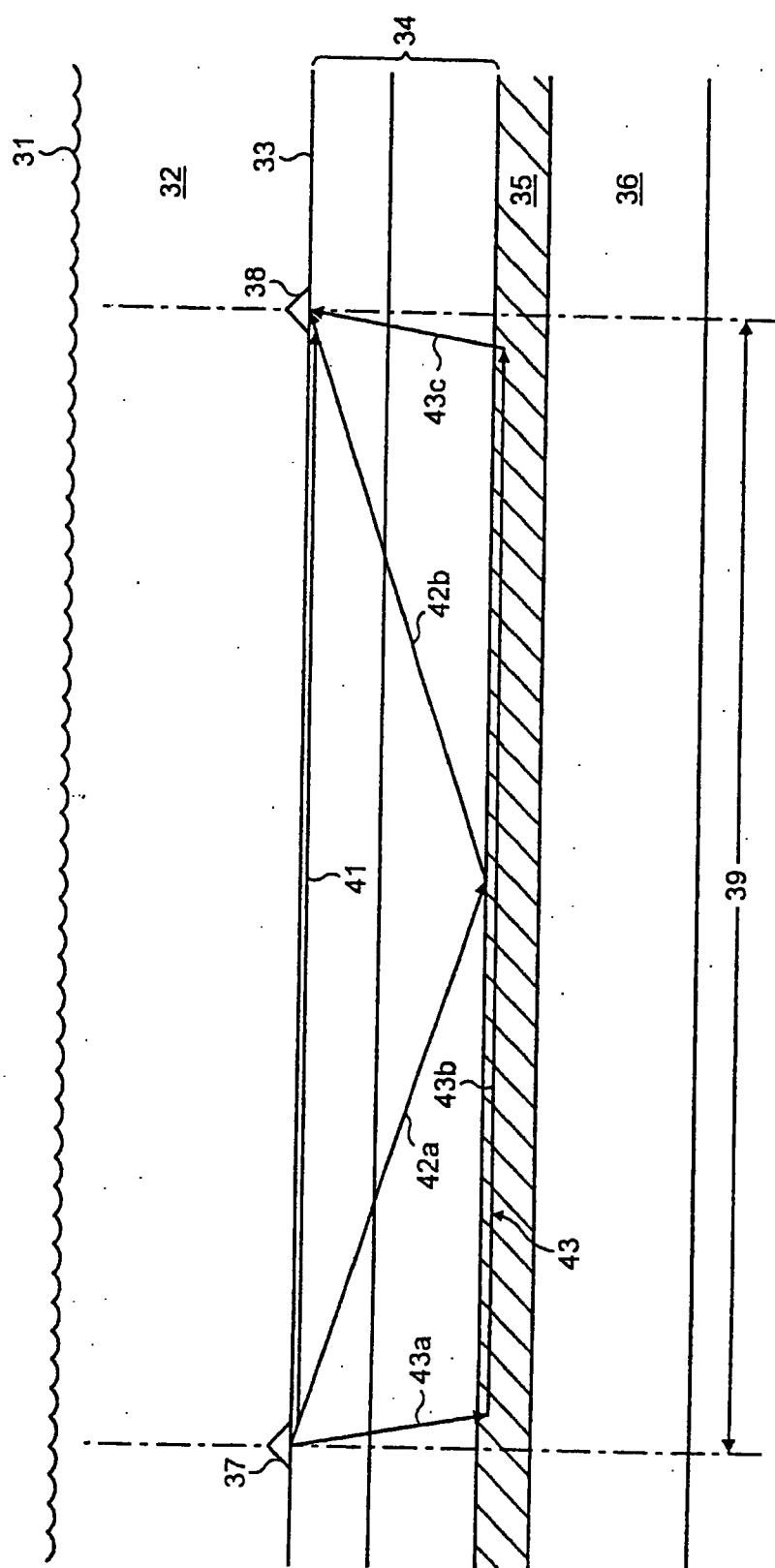


FIG. 2