

19



Octrooiraad
Nederland

11

194133

12

C OCTROOI

21

Aanvraag om octrooi: 8902614

51

Int.Cl.⁷
G01V11/00

22

Ingediend: 23.10.1989

30

Vorrang:
21.12.1988 US 0000287882

43

Ter inzage gelegd:
16.07.1990 I.E. 1990/14

44

Openbaargemaakt:
01.03.2001 I.E. 2001/03

47

Dagtekening:
03.07.2001

45

Uitgegeven:
03.09.2001 I.E. 2001/09

73

Octrooihouder(s):
Exxon Production Research Company te
Houston, Texas, Verenigde Staten van Amerika
(US).

74

Gemachtigde:
Mr. Ir. A.W. Prins c.s. te 2508 DH Den Haag.

54

Elektro-seismisch grondonderzoek. Elektro-seismisch grondonderzoek naar koolwaterstof afzettingen in poreuze, vloeistof bevattende formaties.

Elektro-seismisch grondonderzoek naar koolwaterstof afzettingen in poreuze, vloeistof bevattende formaties

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor elektro-seismisch grondonderzoek, omvattende de
5 stappen van: het initiëren van een seismische schok bij een bronlocatie, zodanig dat het akoestische golffront daarvan een poreuze ondergrondse formatie bereikt en een elektromagnetisch signaal produceert dat zich vanuit de ondergrondse formatie met de snelheid van het licht voortplant, en het detecteren van dit signaal.

Een dergelijke werkwijze is bekend uit het Amerikaanse octrooischrift US-A-4.692.905, waarin een
10 werkwijze voor geofysisch onderzoek wordt beschreven voor het detecteren van complex polymetallische ertslichamen. Bij dit onderzoek worden ten minste twee maal elastische golven in de ertshoudende rotsmassa opgewekt en worden de elektromagnetische pulsen, die worden voortgebracht wanneer de elastische golven de ertslichamen raken, geregistreerd en geanalyseerd om het aantal ertslichamen dat aanwezig is in de rotsmassa en de dikte van deze ertslichamen te bepalen.

15 De methode is echter ongeschikt voor het detecteren van koolwaterstofverbindingen in koolwaterstofhoudende sedimenten, ook al omdat de in het document beschreven techniek wordt toegepast in formaties die relatief dicht in de buurt van een aardoppervlak liggen, terwijl koolwaterstofreservoirs vaak op meer dan duizend meter diepte onder het aardoppervlak zijn gelegen.

Voor het fysische basisproces dat benodigd is voor elektro-seismisch grondonderzoek (elektroseismic
20 prospecting, ESP) volgens de onderhavige aanvraag, dient seismische energie te worden omgezet in elektromagnetische energie met een aanzienlijke waarde. Hoewel er verschillende mogelijke theoretische omzetmechanismen zijn die de waargenomen verschijnselen kunnen veroorzaken, zoals de boven besproken weerstandsmodulatie, spontane potentialen en elektro-capillariteit, wordt het mechanisme dat de waarnemingen het best verklaart en bruikbaar is bij het toepassen van de hierin besproken procedure,
25 aangeduid als "stromende potentiaal" (streaming potential). Deze manier om seismische energie om te zetten in elektromagnetische energie lijkt de theorie te zijn die het meest effectief is bij het analyseren wat er gebeurt met een in een poreuze lithologische formatie aanwezige vloeistofbeweging, en is het meest duidelijk bij de aanwezigheid van ten minste twee onmengbare fluïda, zoals olie en water of gas en water. Het verschijnsel bestaat ook in de aanwezigheid van een lithologische structuur met grote permeabiliteit
30 waarbij er zich in de structuur een porie-fluïdum bevindt. Volgens deze theorie is er een moleculaire chemische-bindingsaanrekening tussen het fluïdum en het poreuze oppervlak van de vaste formatie, welke binding wordt verstoord of verbroken met de snelle beweging van het fluïdum bij contact met een akoestisch golffront, waardoor op een dipool-manier een elektromagnetische respons wordt geïnduceerd. De fluïdumbeweging die een seismische drukgradiënt vergezelt, is door M.A. Biot beschreven in de Journal of the
35 Acoustical Society of America, 1956, volume 28, pagina 168, en idem, 1962, volume 34, pagina 1254. Anderen, zoals J.O. Bockris en A.K.N. Reddy, hebben met de stromende potentiaal geëxperimenteerd en hebben in ongeveer 1973 over hun vindingen gerapporteerd, maar het effect is tot nog toe niet toegepast in elektro-seismisch grondonderzoek zoals volgens de onderhavige uitvinding.

Het is daarom een kenmerk van de onderhavige uitvinding het "stromende potentiaal"-effect te gebruiken
40 in elektro-seismisch grondonderzoek voor het induceren van een detecteerbaar elektromagnetisch veld volgens de in de aanhef genoemde werkwijze, in een ondergrondse formatie die poreus is en ten minste twee onmengbare fluïda in een gemeenschappelijke porieruimte bevat, zodat een versterkt elektromagnetisch signaal wordt geproduceerd als een indicatie van de aanwezigheid van waarschijnlijke koolwaterstof afzettingen in de nabijheid van de ondergrondse formatie.

45 Zoals reeds opgemerkt heeft de onderhavige uitvinding betrekking op het verkrijgen van elektro-seismische gegevens, en wordt soms aangeduid als elektro-seismisch grondonderzoek of ESPO. Elektro-seismisch grondonderzoek onderscheidt zich van de werking van een elektromagnetische geofoon, welke de aanwezigheid van een gereflecteerde seismische of akoestische golf bij het aardoppervlak detecteert. Hoewel elektromagnetische geofonen reeds voor 1950 werden onderzocht, heeft hun werking niet geleid tot
50 elektro-seismisch grondonderzoek.

Er is een essentieel onderscheid dat tussen ESP-gegevens en seismische gegevens kan worden gemaakt. Seismische gegevens onthullen slechts structurele informatie die betrekking heeft op het elastische contrast tussen twee verschillende lithologische gebieden. Er wordt geen informatie verschaft over welke soort van rots aanwezig is of wat zich in de porieruimte van de onderzochte gebieden bevindt.
55 Aan de andere kant werkt ESP alleen wanneer er zich mobiel, geleidend water in de porieruimte van de onderzochte formatie bevindt, of wanneer er een mengsel van water en koolwaterstof is. Het zal daarom duidelijk zijn, dat ESP niet een speciaal geval van seismologie is maar fundamenteel anders is. Het feit dat

ESP gevoelig is voor het type van porie-fluïdum, is de oorzaak van het nut ervan.

In een alternatieve werkwijze van de onderhavige uitvinding wordt het "stromende potentiaal"-effect gebruikt in elektro-seismisch grondonderzoek voor het induceren van een detecteerbaar elektromagnetisch veld volgens de in de aanhef genoemde werkwijze in rotsgesteente met een grote permeabiliteit dat een in
5 hoofdzak waterige, geleidende fase omvat in de porieruimte van het rotsgesteente, zodat een versterkt elektromagnetisch signaal wordt geproduceerd als een indicatie van de aanwezigheid van waarschijnlijke koolwaterstof afzettingen in de nabijheid van de ondergrondse formatie.

De procedure omvat het initiëren van een seismische schok, zoals door een dynamiet-explosie, stampen of dergelijke op een conventionele manier door één of meerdere zich bij of nabij het aardoppervlak
10 bevindende bronnen. Als alternatief kan de seismische bron zich bevinden in een betrekkelijk ondiep of zelfs een diep (bijvoorbeeld formatie-penetrerend) boorgat. Het daardoor geproduceerde seismische of akoestische golf front plant zich voort door de ondergrondse formatie tot het een van de boven beschreven detecteerbare formaties ontmoet. Bij een dergelijke formatie zal het fluïdum of zullen de fluïda binnen de porieruimte van de rots aanzienlijk bewegen, waardoor door het "stromende potentiaal"-effect een
15 elektromagnetische respons wordt veroorzaakt of geïnduceerd. In geval van twee fluïda, zullen de fluïda met een aanzienlijk volume snel worden verplaatst ten opzichte van de poreuze rotsformatie, waardoor een instantane, predominant verticale dipool wordt gecreëerd in de geleidende fluïdumcomponent nabij het vaste oppervlak. In het geval van een enkel geleidend fluïdum, zal fluïdum met een aanzienlijk volume snel worden verplaatst ten opzichte van de poreuze rotsformatie, waardoor ook een instantane, predominant
20 verticale dipool wordt gecreëerd waar het geleidende fluïdum door de vaste stof wordt aangetrokken. De door deze dipool veroorzaakte elektromagnetische straling kan worden beschouwd als een golf die door de ondergrondse formatie wordt gezonden naar het aardoppervlak met de lichtsnelheid door het lithologische materiaal tussen het punt van reflectie en het punt van detectie.

Bij het oppervlak registreert een geschikte detector het elektromagnetische veld. Geschikte detectoren
25 zijn in principe elektronische detectoren, hoewel magnetische sensoren ook gebruikt kunnen worden. Gebleken is dat de meest simpele en meest gevoelige sensor de vorm heeft van twee staafvormige elektroden met een onderlinge afstand van ongeveer 4,6–610 meter, waarbij de staven in het aardoppervlak worden gedreven tot een geschikte diepte, om te worden ingebed in het eerste grondwater onder het oppervlak. De werkelijke tussenafstand hangt af van (1) bij het elektrodecontact met de grond gegenereerde
30 elektrische ruis, (2) omgevingsruis, (3) signaalsterkte, en (4) de diepte van de formatie van interesse.

Het elektromagnetische signaal kan ook elektrisch worden gedetecteerd onder gebruikmaking van twee elektroden die ruimtelijk gescheiden zijn bij verschillende diepten in een boorput, waarbij elk van de elektroden de lithologische formatie van de aarde naast de boorput penetreert.

De frequentie van de seismische schok bevindt zich bij voorkeur in een gebied van ongeveer 1–500 Hz,
35 en de frequentie van het elektromagnetische signaal bevindt zich in een vergelijkbaar gebied van ongeveer 1–500 Hz.

De rots heeft een hydraulische permeabiliteit die bij voorkeur groter is dan 0,1 millidarcy.

Het veld induceert een meetbaar potentiaalverschil of voltage, welke detecteerbaar is en op een standaardmanier wordt versterkt en eventueel opgeslagen.

40 Het onderhavige voorstel meer in detail worden toegelicht onder verwijzing naar de figuren 1 tot en met 6.

Van de figuren is:

figuur 1 een aanzicht in dwarsdoorsnede van een typische procedurele opstelling van componenten welke een voorkeursuitvoeringsvorm van het onderhavige voorstel illustreert;

45 figuur 2 een gedeeltelijk aanzicht in dwarsdoorsnede van een poreuze formatie die geschikt is voor elektromagnetische excitatie door een seismisch golf front volgens het onderhavige voorstel, welke ook het "stromende potentiaal"-effect illustreert;

figuur 3 een schematische representatie van een andere voorkeursopstelling van het onderhavige voorstel waarbij de bron zich nabij de bodem van een betrekkelijk ondiepe boorput bevindt;

50 figuur 4 een schematische representatie van het buisgolf front dat in een boorput omhoog beweegt van een als bron dienende gebeurtenis, en de elektromagnetische responsen die als gevolg daarvan plaatsvinden;

figuur 5 een visuele representatie van in het veld opgenomen elektromagnetische gegevens die resulteren van een fysische opstelling van componenten zoals in figuur 4 getoond; en

55 figuur 6 een vereenvoudigd elektrisch diagram van een geschikte elektromagnetische detector volgens een voorkeursuitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding.

In figuur 1, waarin een typische voorkeursuitvoeringsvorm van het onderhavige voorstel is geïllustreerd, bevindt zich een bron 10 bij of nabij het aardoppervlak, hetgeen ook in een ondiepe boorput 12 kan zijn. Ruimtelijk van de bron gescheiden bevinden zich detectoren die geschikt zijn voor het detecteren van seismische reflecties. Deze omvatten een gefoonreeks bestaande uit de geofonen 14A-F voor het
5 detecteren van de in de stand van de techniek welbekende normale akoestische reflecties, en een geschikte elektro-seismische detector 16 die hierna gedetailleerder zal worden beschreven. Zowel de gefoon-detectorreeks als de elektro-seismische detector kunnen verbonden zijn met een opneeminrichting die zich in een opneemvrachtwagen 18 bevindt.

De bron 10 kan desgewenst een enkele dynamietbron, een akoestische "stamper", of een meer
10 complexe bron zijn. In het algemeen echter, wanneer deze geactiveerd wordt, ontspringt daarvan seismische of akoestische energie als een seismische golf 20 door de ondergrondse lithologie onder de bronlocatie.

Als uitlegvoorbeeld bevindt zich in figuur 1 een gebied van de formatie waarin een gaslaag in contact is met een waterlaag. Het scheidingsvlak tussen deze twee lagen wordt in de tekening met het verwijzingscijfer 22 aangeduid. De formatie waarin deze twee onmengbare fluïda zich bevinden, is de formatie die
15 detecteerbaar is volgens de procedure van het onderhavige voorstel. Een segment 24 van deze detecteerbare formatie is uitvergroot. Voor het gemak is dit segment van de formatie afgebeeld als een driedimensionale kubus.

De formatie zelf is poreus, zoals duidelijker te zien is in figuur 2. Dat wil zeggen, er zijn vaste rotsgedeelten 23 waarbinnen vele kanaalachtige porieruimten 25 aanwezig zijn. Omdat gas en water niet mengen en water en hogere soortelijke massa bezit dan gas, zakt het water omlaag en vult het water de onder de grenslijn 22 gelegen ruimten 25, en vult het gas de boven die lijn gelegen ruimten 25. Daar waar zich water bevindt, is er een elektro-chemische binding tussen het water en de vaste rotsgedeelten 23. Dit is aangeduid met de "+"-symbolen in het fluïdumgedeelte en de "-"-symbolen in het vaste gedeelte van de
25 formule.

Het teken van het elektrisch veld of de richting van de veldpolariteit hangt af van de oppervlaktelading op de vaste stof en de manier waarop het fluïdum die lading afschermt. In klei is de lading verdeeld zoals in figuur 2 getoond. In carbonaten kan de lading echter omgekeerd zijn, dat wil zeggen met de "+"-lading op de vaste stof.

Wanneer een akoestische seismische golf 20 de formatie treft in het afgebeelde gebied van de formatie, wordt er bij de diepten P_1 en P_2 een drukgradiënt tot stand gebracht die omlaag drukt op het water, beginnend bij het wateroppervlak, en die zich neerwaarts door het fluïdum begeeft in een hoofdzakelijk verticale richting, en daarbij tot gevolg heeft dat het fluïdum zich omlaag beweegt. Dit is geïllustreerd in
35 figuur 1 door pijlen 26 die de richting van het stromende poriefluïdum aanduiden. Het zal duidelijk zijn, dat deze neerwaartse beweging het effect heeft dat de elektro-chemische bindingen worden gescheiden, waardoor een hoofdzakelijk verticale dipool tot stand wordt gebracht waar de bindingen verstoord of verbroken zijn. Deze dipool bevindt zich niet alleen in het gebied nabij het wateroppervlak of grensvlak 22, maar door de gehele diepte van de formatie waar de afgebeelde lithologie bestaat. Aldus wordt een verticaal elektrisch veld 28 geïnduceerd met een omhoog gerichte verticale richting bij het trefpunt, met een
40 aanzienlijke kracht of sterkte. De polariteit van dit veld is van negatief naar positief in een progressief opwaartse richting in het voorbeeld van figuur 1.

Zoals boven beschreven, zal in het algemeen de eerste aankomst van de seismische golf het fluïdum omlaag verplaatsen. Echter, zoals in het hiernavolgende ten aanzien van het voorbeeld van figuur 4 wordt beschreven, kan de eerste aankomst soms corresponderen met een opwaartse beweging. Bovendien zal,
45 na de eerste aankomst, het fluïdum tot rust komen en vervolgens in de tegengestelde richting gaan bewegen. In het algemeen beweegt echter het fluïdum in de richting van de drukgradiënt, in tegenstelling tot hetgeen geleerd wordt door het Amerikaanse octrooischrift 2.354.659.

Het is duidelijk dat het elektrisch veld 28 wordt opgewekt wanneer de poriën boven de lijn 22 ofwel gevuld zijn met een gas of wanneer deze poriën vrij zijn van een gas of een vloeistof. Wanneer er twee
50 vloeistoffen zijn, zoals olie en water, is de snelheid van neerwaartse beweging van de twee fluïda vergelijkbaar, maar alleen de beweging van de geleidende vloeistof genereert een elektrisch veld, zodat bij de lijn waar de twee fluïda elkaar ontmoeten een discontinuïteit in het elektrisch veld zal optreden.

Het elektrisch veld 28 produceert een corresponderende elektromagnetische golf 30 die zich vanuit het zojuist beschreven getroffen gebied weg beweegt. In tegenstelling tot een gereflecteerde akoestische golf
55 reist een elektromagnetische golf met de lichtsnelheid ten opzichte van de bestaande lithologische formatie. Wanneer er een conventioneel seismisch reflecterend grensvlak is, zullen natuurlijk akoestische reflecties plaatsvinden en deze zullen worden gedetecteerd door de gefoonreeks, eveneens op een conventionele

manier. De detectie van de elektromagnetische golf zal echter plaatsvinden wanneer er zich in een poreuze formatie een fluïdum met een grote permeabiliteit bevindt, of wanneer er zich twee onmengbare fluïda in een formatie bevinden.

5 Wanneer er twee fluïda aanwezig zijn, bewegen beide fluïda met ongeveer dezelfde snelheid. Het belang van twee fluïda is enigszins subtiel en het inzicht van wat de effecten zijn, wordt tot nog toe niet begrepen. Men vermoedt dat wanneer er een grens tussen twee fluïda is (bijvoorbeeld een gas-water-contact), deze grens een vlak vormt waarop seismische energie reflecteert, en een deel van die energie wordt omgezet in fluïdumbeweging. Het ESP-sigitaal is groot vanwege deze seismische energieconversie.

10 Wanneer er zich twee fluïda in dezelfde poriestructuur bevinden (bijvoorbeeld oliedruppels in water of gasbellen in water), leidt een willekeurige fluïdumbeweging tot een groot elektrisch veld omdat de verstoring van de druppelvorm of de belvorm bijdraagt aan het elektrisch veld. Dit is het in het voorgaande genoemde "elektro-capillaire"-effect. Evenals de stromende potentiaal is het elektro-capillaire-effect reeds vele jaren bekend in de elektrochemie, maar werd het belang ervan voor ESP niet ingezien.

15 Figuur 3 toont een alternatieve plaatsing van een bron 10 in een boorput en op een afstand van de bodem van een put van 150 meter diepte. Deze bron bevindt zich onder de gas/waterlijn 22. Een zich bij het aardoppervlak nabij de opening van de boorput bevindende geofon 14 zal de door activatie van de bron veroorzaakte akoestische golfvorm detecteren. De in de boorput omhoog bewegende akoestische golf wordt aangeduid als een "buis" golf. De akoestische golf die het door lijn 22 gedefinieerde gebied treft, zal een elektromagnetische respons produceren zoals hierboven beschreven en is detecteerbaar door een
20 geschikte detector 16.

Zoals vollediger in figuur 4 getoond, kunnen verschillen in condities in de boorput en in de lithologie nabij de boorput bestaan, die resulteren in een elektromagnetische respons en die detecteerbaar zijn op de in figuur 3 getoonde manier. Figuur 5 toont een grafische representatie van een elektrische respons die veroorzaakt wordt door de effecten van de fysische variaties zoals beschreven aan de hand van figuur 4.
25 Aangenomen wordt dat zich in de formatie ter plaatse van punt 50 een waterige zouthoudende vloeistof in een formatie met een grote permeabiliteit bevindt. Het treffen van de akoestische druk van de seismische bron 10 zal resulteren in een naar buiten gerichte fluïdumbeweging bij dat punt, hetgeen een detecteerbare elektromagnetische respons veroorzaakt.

30 Ter hoogte van de lijn 52 bevindt zich een gaslaag die eveneens door het treffen van de akoestische p-golf wordt aangeslagen. Wederom vindt hierop een elektromagnetische golfrespons plaats, die bij het oppervlak detecteerbaar is.

Bij het punt 54 wordt het oppervlak van het fluïdum in het boorgat bereikt door de buisgolf, waardoor wederom een buitenwaartse respons in de formatie wordt geproduceerd die resulteert in elektromagnetische responsen ter hoogte van de lijnen 56 en 58, vergelijkbaar met de lijn 22, waar twee onmengbare fluïda
35 elkaar ontmoeten. Door zowel de akoestische golven als de elektromagnetische golven te bekijken, is het mogelijk om te beoordelen wat bij elk niveau is gebeurd. Hierbij wordt in herinnering geroepen dat de akoestische golven zich met de geluidssnelheid voortplanten en dat de elektromagnetische golven zich met de lichtsnelheid voortplanten, hetgeen op eenvoudige wijze duidelijk maakt wanneer er een elektromagnetische respons op een akoestisch golf front is geweest. Aldus wordt de elektromagnetische detectie van de
40 bron bij de monding van het boorgat getoond door de verticale lijn 51 in figuur 5, welke lijn verticaal is aangezien de elektromagnetische golf bij het boorgat omhoog beweegt met de lichtsnelheid. De lijn 53 in figuur 5 is de elektromagnetische respons op het ESP-sigitaal die gegenereerd wordt wanneer een akoestische buisgolf in de put omlaag beweegt, de bodem van de put treft, en een neerwaartse fluïdumstroming in de formatie veroorzaakt.

45 In figuur 5 worden de elektromagnetische responsen op het fluïdumoppervlak 54 getoond door de lijn 55; op formatie 56 door lijn 57; op formatie 58 door lijn 59; en op gaslaaglijn 52 door lijn 61. In het als voorbeeld dienende experiment dat de in figuur 5 getoonde responsen veroorzaakte, was de seismische bron in de put een kunststof springstof. De karakteristieke signaalrespons van figuur 5 veroorzaakte een spanning van verscheidene tientallen microvolt over een antenne, die 4,6 meter lang was.

50 De in figuur 5 getrokken lijnen zijn behulpzaam bij het interpreteren aangezien de hellingen ervan een maat zijn voor de seismische snelheid. Zoals in de figuur is aangeduid, zijn de lijnen 53, 55, 57 en 59 in verband te brengen met buisgolven in de boorput. Het is bekend dat buisgolven in een zoals in het voorbeeld getoonde formatie een snelheid hebben van 1372 m/s. In tegenstelling daarmee correspondeert de lijn 61 met een seismische voortplanting in de formatie die de boorput omgeeft, waarbij het bekend is dat
55 de karakteristieke drukgolfsnelheid 1738 m/s is. De lijn 61 heeft een helling van 1738 m/s.

Figuur 6 illustreert een eenvoudige opstelling voor elektromagnetische detectie. Opgemerkt wordt dat een detector eenvoudig gemaakt kan worden door ruimtelijk gescheiden roestvrijstalen pijpelektroden 60 en 62,

die bij voorkeur zijn ingebracht tot een zodanige diepte dat zij het grondwater bereiken. Andere metalen pijpen zoals koper of lood kunnen ook worden gebruikt. In de tekening is aangenomen dat het grondwater zich bevindt op 4,6 m, zodat elektroden die 6,1 m lang zijn, geschikt zijn. Detectie is echter ook mogelijk met elektroden die niet in het grondwater steken. De twee elektroden zijn meestal over een afstand van 5 tussen 4,6–610 m van elkaar gescheiden. De twee elektroden zijn verbonden, optioneel in serie, met een batterij door een primaire winding 64 van een transformator. Een daarmee gekoppelde secundaire winding 66 is door geschikte bandsperfilters 68 verbonden met een versterker 70 voor het verwijderen van verstrooide opgepakte frequenties. Bijvoorbeeld als er zich in de nabijheid een hoogspanningsleiding bevindt, is een bandsperfilter rond 60 Hz gewenst. De versterker kan naar wens verbonden zijn met een 10 weergeefinrichting 71 of een opnemende computer 72. Deze uitrusting bevindt zich gewoonlijk in een dichtbij staande vrachtwagen of een andere geschikte bescherming.

Conclusies

15

1. Werkwijze voor elektro-seismisch grondonderzoek, omvattende de stappen van:

- het initiëren van een seismische schok bij een bronlocatie, zodanig dat het akoestische golffront daarvan een poreuze ondergrondse formatie bereikt en een elektromagnetisch signaal produceert dat zich vanuit de ondergrondse formatie met de snelheid van het licht voortplant, en
- 20 – het detecteren van dit signaal; met het kenmerk, dat
- de ondergrondse formatie poreus is en ten minste twee onmengbare fluïda in een gemeenschappelijke porieruimte bevat, zodat een versterkt elektromagnetisch signaal wordt geproduceerd als een indicatie van de aanwezigheid van waarschijnlijke koolwaterstof afzettingen in de nabijheid van de ondergrondse formatie.

25 2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de werkwijze wordt toegepast op een ondergrondse formatie waarin de twee onmengbare fluïda grotendeels gescheiden zijn, zodanig dat het ondiepe gedeelte van de porieruimte voornamelijk gevuld is met een gasfluïdum en het diepe gedeelte van de porieruimte voornamelijk gevuld is met een waterig fluïdum, en dat de oorsprong van het versterkte elektromagnetische signaal is gelegen in het contactgebied tussen het ondiepe met fluïdum gevulde 30 gedeelte en het diepe met fluïdum gevulde gedeelte van de porieruimte.

3. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de werkwijze wordt toegepast op een ondergrondse formatie waarin de twee onmengbare fluïda grotendeels gescheiden zijn, zodanig dat het ondiepe gedeelte van de porieruimte voornamelijk is gevuld met een vloeibaar koolwaterstoffluïdum en het diepe gedeelte van die porieruimte voornamelijk gevuld is met een waterig fluïdum, en dat de oorsprong van het 35 versterkte elektromagnetische signaal is gelegen in het contactgebied tussen het ondiepe met fluïdum gevulde gedeelte en het diepe met fluïdum gevulde gedeelte van de porieruimte.

4. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de onmengbare fluïda een gas en een vloeistof omvatten, en het gas in de vloeistof is gedispergeerd.

5. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de onmengbare fluïda een waterige component en 40 een voornamelijk koolwaterstofcomponent omvatten, en de koolwaterstofcomponent in de waterige component is gedispergeerd.

6. Werkwijze voor elektro-seismisch grondonderzoek, omvattende de stappen van:

- het initiëren van een seismische schok bij een bronlocatie, zodanig dat het akoestische golffront daarvan een poreuze ondergrondse formatie bereikt en een elektromagnetisch signaal produceert dat 45 zich vanuit de ondergrondse formatie met de snelheid van het licht voortplant, en
- het detecteren van dit signaal; met het kenmerk, dat
- de ondergrondse formatie rotsgesteente is met een grote permeabiliteit dat een in hoofdzaak waterige, geleidende fase omvat in de porieruimte van het rotsgesteente, zodat een versterkt elektromagnetisch signaal wordt geproduceerd als een indicatie van de aanwezigheid van waarschijnlijke koolwaterstof 50 afzettingen in de nabijheid van de ondergrondse formatie.

7. Werkwijze volgens conclusie 1 of 6, met het kenmerk, dat de seismische schok wordt geïnitieerd bij of nabij het aardoppervlak.

8. Werkwijze volgens conclusie 1 of 6, met het kenmerk, dat de seismische schok wordt geïnitieerd bij een locatie onderin een gat van binnen een put die in hoofdzaak tot onder het aardoppervlak penetreert.

55 9. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de seismische schok wordt geïnitieerd bij een locatie van binnen een put die het gebied van de poreuze ondergrondse formatie penetreert.

10. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat het poriefluïdum in hoofdzaak zouthoudend water

is.

11. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat het poriefluidum in hoofdzaak zouthoudend water is met een geringe opgeloste component van gas.
12. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat het poriefluidum in hoofdzaak zouthoudend water is met een geringe opgeloste component van een koolwaterstofvloeistof.
13. Werkwijze volgens conclusie 1 of 6, met het kenmerk, dat de frequentie van de seismische schok zich in een gebied bevindt van ongeveer 1–500 Hz, en dat de frequentie van het elektromagnetische signaal zich in een vergelijkbaar gebied bevindt van ongeveer 1–500 Hz.
14. Werkwijze volgens conclusie 1 of 6, met het kenmerk, dat het elektromagnetische signaal elektrisch wordt gedetecteerd onder gebruikmaking van twee in het aardoppervlak ingebedde elektroden, en dat de spanning daartussen wordt gedetecteerd als het golffront van het elektromagnetische signaal de respectieve elektroden bereikt.
15. Werkwijze volgens conclusie 14, met het kenmerk, dat de elektroden zijn ingebed tot een diepte die in de onder het aardoppervlak aanwezige eerste grondwater penetreert.
16. Werkwijze volgens conclusie 1 of 6, met het kenmerk, dat het elektromagnetische signaal elektrisch wordt gedetecteerd onder gebruikmaking van twee elektroden die ruimtelijk gescheiden zijn bij verschillende diepten in een boorput, waarbij elk van de elektroden de lithologische formatie van de aarde naast de boorput penetreert.
17. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de rots met grote permeabiliteit een hydraulische permeabiliteit heeft die groter is dan 0,1 millidarcy.

Hierbij 3 bladen tekening

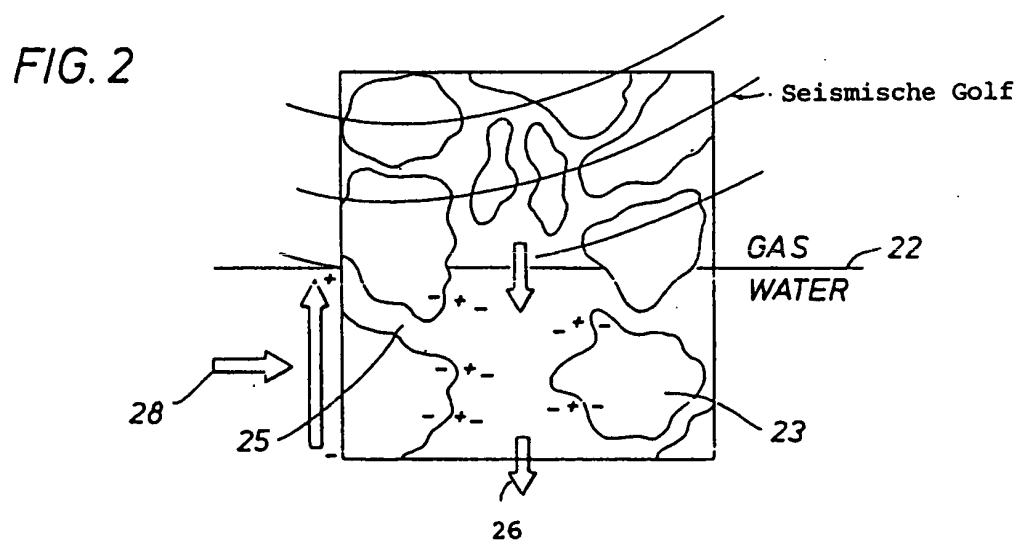
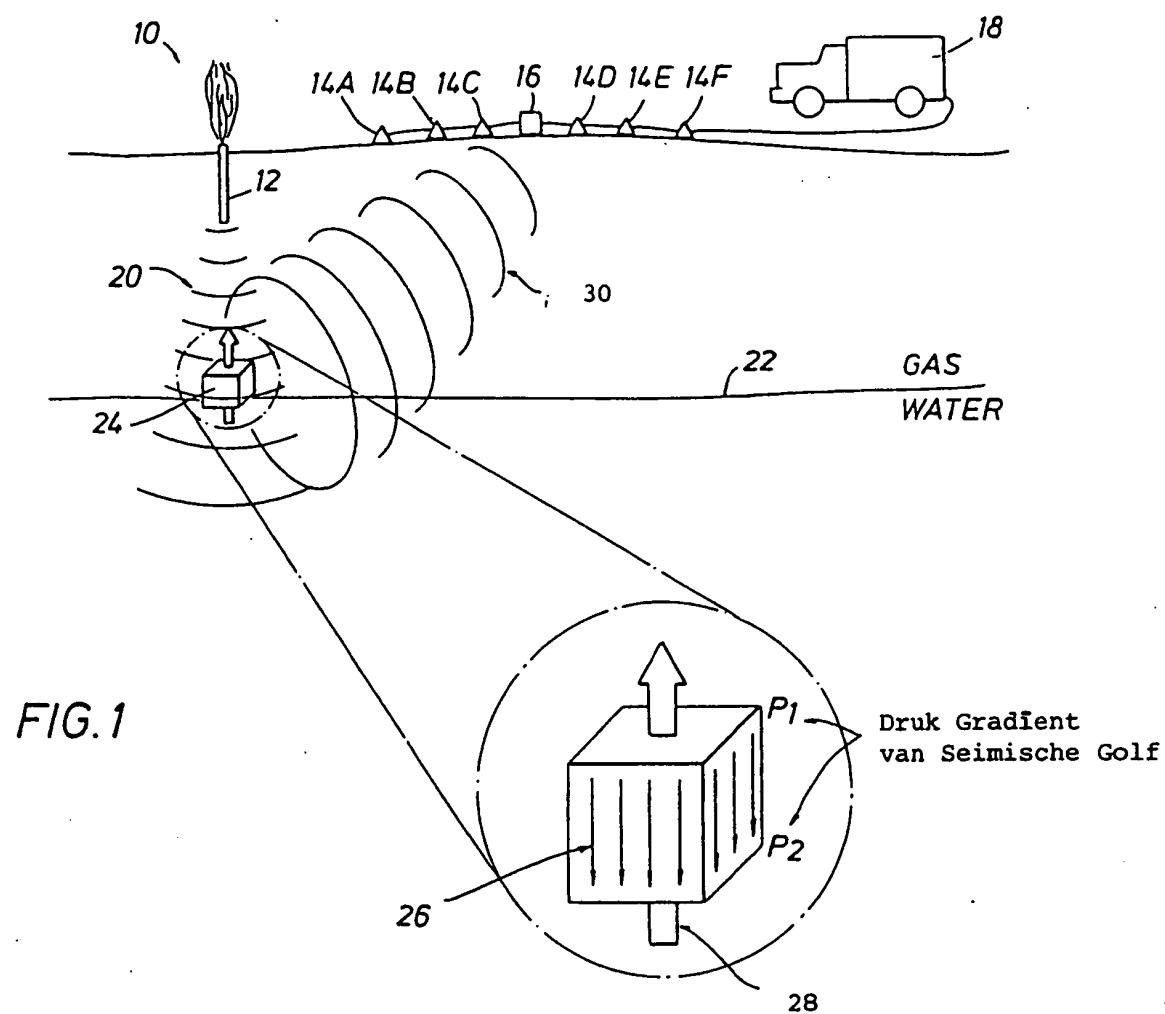


FIG. 3

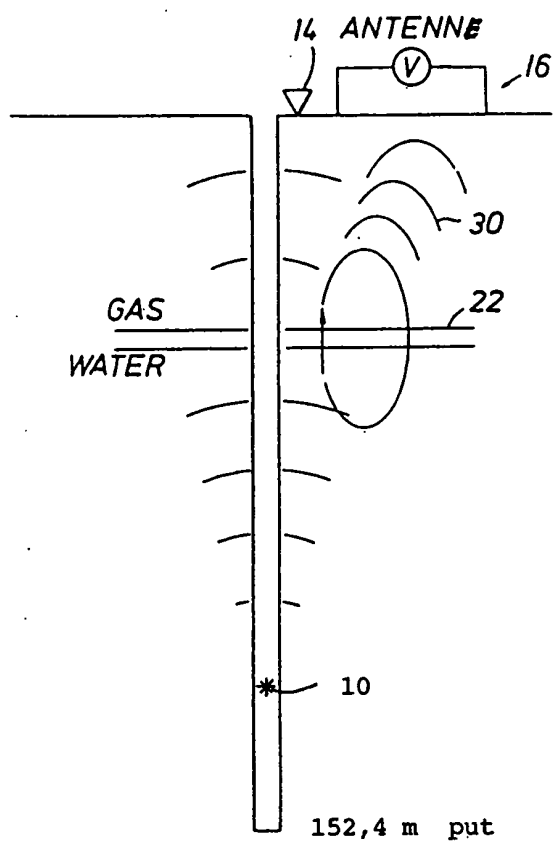


FIG. 4

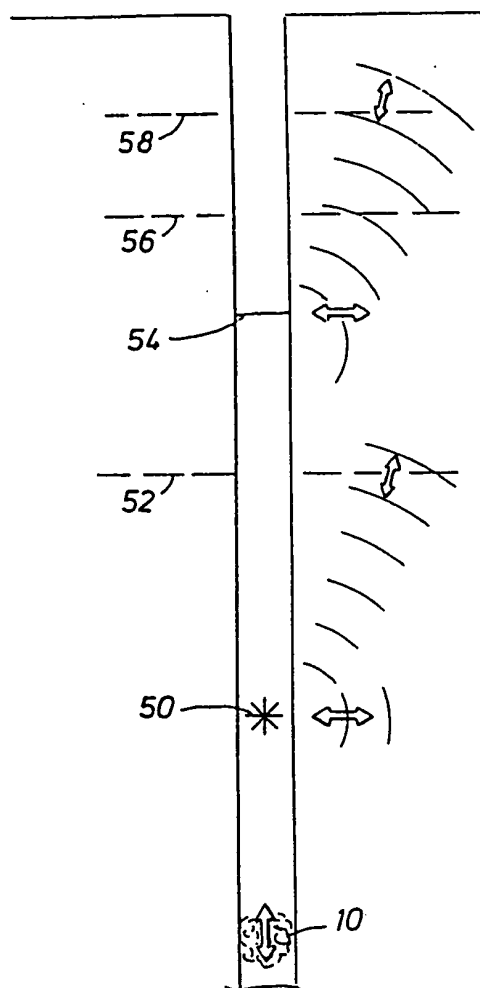


FIG. 6

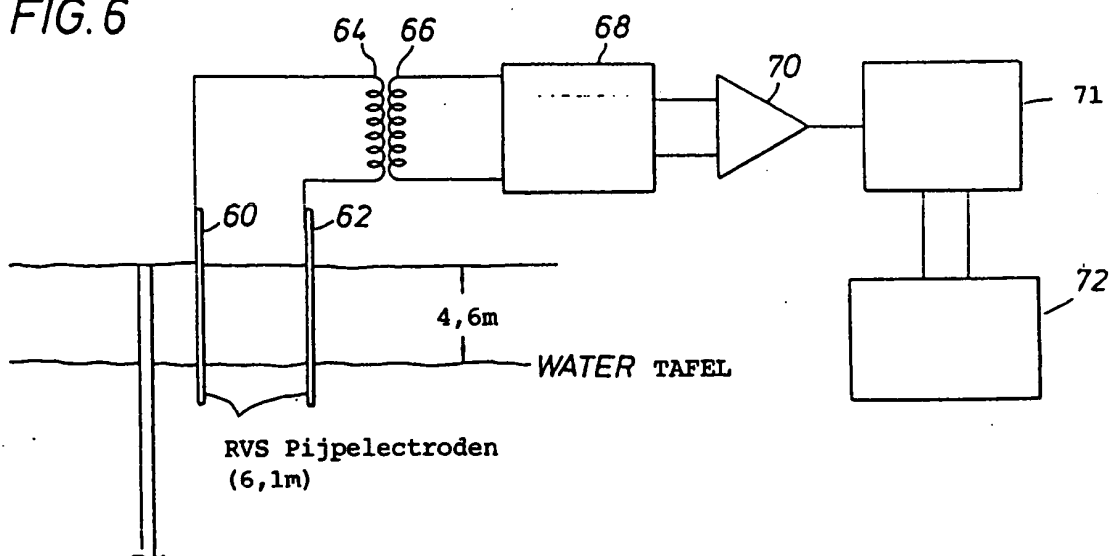


FIG. 5

