



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(51) Int Cl⁷

(11) **318923**

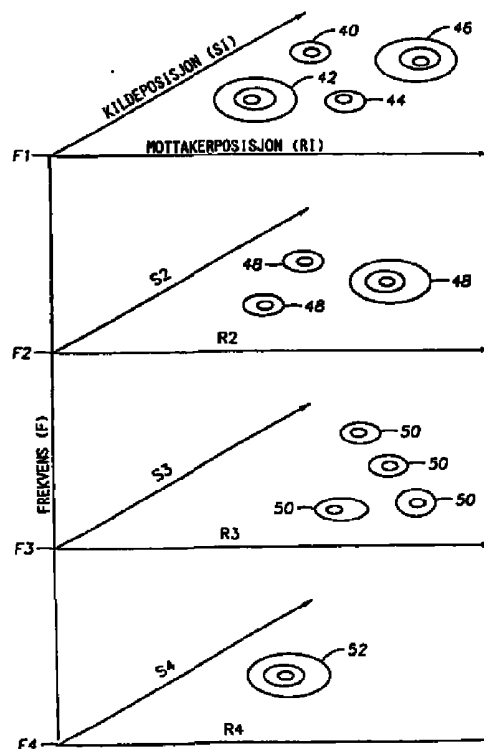
G 01 V 1/40

(13) **B1**

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19973493	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1997.07.30	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	1997.07.30	(30)	Prioritet	1996.08.30, US, 705780
(41)	Alm.tilgj	1998.03.02			
(45)	Meddelt	2005.05.23			
(73)	Innehaver	Western Atlas International Inc, P.O. Box 1407, Houston, TX 77251-1407, US			
(72)	Oppfinner	Yu Taik Chon, 222 Milbrook Lane, TX77024 HOUSTON, US Walter R Turpening, 11606 Brook Meadows, TX77477 STAFFORD, US Tawassul A Khan, 12639 Rifleman Trail, TX77429 CYPRESS, US			
(74)	Fullmektig	ABC-Patent, Siviling. Rolf Chr. B. Larsen AS, Postboks 6150 Etterstad, 0602 OSLO, NO			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å kartlegge sedimentologisk kontinuitet mellom kryssbrønner ved å benytte en separasjon av seismiske kompresjons- og skjærbølgekomponenter			
(56)	Anførte publikasjoner	US 5144590			
(57)	Sammendrag				

Fremgangsmåte for å bestemme kontinuiteten av geologiske formasjoner mellom borehull ved å analysere seismisk energi som har blitt påført formasjonene. Energien påføres formasjonene ved flere dybder i ett borehull og mottas ved flere dybder i et andre borehull. Kompresjons- og skjærbølgekomponenter av den seismiske energien mottatt i det andre borehullet separeres. Et frekvensspektrum bestemmes for kompresjonsbølgekomponenten og skjærbølgekomponenten av den seismiske energien ved hver utvalgt dybde. Fellespåførte dybdestakker av kompresjonsbølgekomponentene og skjærbølgekomponentene samles ved dybdene hvor den seismiske energien blir påført. Fellesmottatte dybdestakker av kompresjons- og skjærbølgekomponentene samles ved de utvalgte dybdene hvor energien mottas. De samlede felles påført- dybde-stakkene for kompresjonsbølgekomponentene og skjærbølgekomponentene blir plottet og de samlede felles mottat-dybde-stakkene av kompresjonsbølgekomponentene og skjærbølgekomponentene plottes. Formasjoner som har relaterte frekvensspektra for kompresjonsbølgekomponentene og formasjoner som har relaterte frekvensspektra av skjærbølgekomponentene kan detekteres.



Oppfinnelsens bakgrunn

Oppfinnelsen gjelder fagfeltet seismisk energi-kartlegging av geologiske formasjoner. Mer spesifikt dreier oppfinnelsen seg om bestemmelse av geologisk kontinuitet i et
5 reservoar i en geologisk formasjon mellom borehull ved å måle seismiske energioverføringsegenskaper til de geologiske formasjonene mellom borehullene.

Beskrivelse av den kjente teknikk

10 Geologiske formasjoner i undergrunnen har noen steder permeable soner som tillater væskestrømninger. Disse kaller vi reservoarer. Borehull bores inn i reservoarene for å trekke ut fluidene som kan omfatte kommersielt nyttige materialer som petroleum. Brønnoperatører er spesielt opptatt
15 av den geologiske struktur av reservoaret, ettersom denne strukturen vedrører plasseringen av borehullene som brukes til å trekke ut fluidene.

Det finnes forskjellige fremgangsmåter for å tolke den geologiske strukturen i reservoaret ut fra målinger gjort ved
20 jordens overflate, så som refleksjonsseismiske undersøkelser. Andre fremgangsmåter omfatter korrelasjon mellom borehull av målinger gjort inne i borehullene, hvor disse målingene gjøres ved hjelp av forskjellige typer brønnloggeinstrumenter som alle er kjent innen faget.

25 Fremgangsmåten for borehullslogging og seismiske undersøkelser er generelt ikke i stand til å bestemme om et reservoar er geologisk kontinuerlig mellom to spesielle borehull. Kjennskap til om det eksisterer noen geologisk kontinuitet kan være viktig for borehullsoperatøren for å plassere nye
30 borehull best mulig. En fremgangsmåte for å kartlegge geologiske kontinuiteter er beskrevet i US-patent nr. 5,144,590 (Chon). Fremgangsmåten som beskrives i Chons '590 omfatter å sette inn en seismisk energikilde i ett borehull, og måle den seismiske energien som beveger seg til mottakere plassert i
35 et annet borehull som også gjennomtrenger reservoaret. De

spektrale karakteristika av energien som når frem til mottakerne ettersom den beveger seg fra kilden, kan analyseres for å bestemme om reservoaret er geologisk kontinuerlig mellom borehullene.

5 En begrensning for fremgangsmåten beskrevet i Chons '590-patent er at all energien fra kilden benyttes for å bestemme konnektiviteten mellom borehullene. I bestemte tilfeller kan reservoaret være geologisk forbundet mellom borehullene mens fluidet som befinner seg mellom borehullene ikke
10 nødvendigvis behøver å være kontinuerlig. Et konnektivitetskart basert på all energien som overføres mellom borehull kan indikere en geologisk diskontinuitet i et slikt tilfelle selv om reservoaret er hydraulisk sammenhengende mellom borehullene.

15 En annen begrensning av fremgangsmåten i Chons '590-patent kan illustreres ved et tilfelle hvor mineralinnholdet i formasjonen, hvorav reservoaret er sammensatt, endrer seg mellom borehullene. I dette tilfellet kan fremgangsmåten ifølge Chons '590-patent indikere geologisk diskontinuitet
20 mellom borehullene selv om reservoaret faktisk er hydraulisk kontinuerlig mellom borehullene.

 Det er ønskelig å utvide fremgangsmåten beskrevet i Chons '590-patent, noe som gjør det mulig for brukeren å bestemme geologisk kontinuitet, selv når det er en mineralogisk fluidinnholdsforandring i reservoaret mellom borehullene.
25

Sammendrag av oppfinnelsen

30 De karakteriserende trekk ved den foreliggende oppfinnelse fremgår av det selvstendige krav 1. Ytterligere trekk ved oppfinnelsen fremgår av de vedføyde uselvstendige krav.

 Oppfinnelsen er en fremgangsmåte for å bestemme kontinuiteten av geologiske formasjoner mellom borehull ved å analysere seismisk energi påført formasjonene og overført
35 mellom borehull. Den seismiske energien blir påført forma-

sjonene ved flere dyp i et første borehull. Den seismiske energien mottas ved flere dyp i et annet borehull.

Kompresjons- og skjærbølgekomponenter i den seismiske energien som mottas i det andre borehullet blir separert. Et
 5 frekvensspektrum blir bestemt både for kompresjons- og skjærbølgekomponenten av den seismiske energien, ved hvert valgt dyp. Fellespåførte dybdestakker av kompresjons- og skjærbølgekomponentene samles for de dybdene som den seismiske energien er påført. Fellesmottatte dybdestakker av

10 kompresjons- og skjærbølgekomponentene samles for de utvalgte dyp hvor den seismiske energien blir mottatt. De samlede fellespåførte dybdestakkene av kompresjons- og skjærbølgekomponentene plottes, og de samlede fellesmottatte dybdestakkene av kompresjons- og skjærbølgekomponentene plottes.

15 Formasjoner som har sammenheng mellom sine frekvensspektra for kompresjonsbølgekomponenten og formasjoner som har sammenheng mellom skjærbølgekomponentene, kan bli detektert, og ut fra dette kan en kontinuitetsgrad i reservoaret mellom det første borehullet og det andre borehullet, bli bestemt.

20 Kort beskrivelse av figurtegningene

Figur 1A viser hvordan de seismiske signalene ifølge oppfinnelsen samles inn.

Figur 1B viser bølgebaner for utvalgte dybder i hvert borehull hvor energien er påført og mottatt.

Figur 2 viser en samling av konnektivitetsskart generert med separerte kompresjons- og skjærbølgefelt, og et konnektivitetsskart på grunnlag av forholdet mellom kompresjons- og skjærbølgeamplitude.

30 Beskrivelse av den foretrukne utførelse

Oppfinnelsen bruker signaler som resulterer fra seismisk energi overført mellom borehull. De seismiske signalene kan samles inn ved å anvende seismisk energi ved forskjellige
 35 dybder innenfor et første borehull gjennom geologiske forma-

sjoner og å motta energi overført gjennom de geologiske formasjonene i et annet borehull gjennom de geologiske formasjonene, plassert i en avstand fra det første borehullet. En fremgangsmåte for å oppnå passende seismiske signaler for fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er beskrevet i US-patent nr. 5,144,590 (Chon). Fremgangsmåten er illustrert i figur 1A og 1B. I figur 1A er en seismisk energikilde 10 vist plassert ved utvalgte dybder i det første borehullet 12 boret gjennom geologiske formasjoner omfattende et reservoar, generelt med henvisningstall 17. Kilden 10 kan være en hvilken som helst vibrator av de typene som er kjent i fagmiljøet, for eksempel vibratorer, gnistgeneratorer ("sparkere") og eksplosiver. Det foretrekkes at kilden 10 genererer seismisk energi med et frekvensområde fra 10 til 50 Hz i det nedre område, og 2000-3000 Hz for den øvre grense. Kilden 10 kan føres inn i og trekkes tilbake fra det første borehullet 12 ved hjelp av en armert elektrisk kabel 11 eller et annet føringssystem kjent innen fagområdet. Det andre borehullet 16 kan være plassert i en avstand fra det første borehullet 12 og er vist i figur 1A som gjennomtrengende i reservoaret 17. En seismisk mottaker 18 kan plasseres ved utvalgte dybder i det andre borehullet 16. I figur 1A er mottakeren 18 vist som omfattende fire individuelle mottakerenheter, men antall mottakerenheter i mottakeren 18 må ikke oppfattes som begrensende for oppfinnelsen. Så få mottakerenheter som én enhet kunne ha vært anvendt, men av praktiske og operasjonsøkonomiske hensyn foretrekkes det at mottakeren 18 omfatter så mange mottakerenheter som det praktisk kan settes inn i borehullet i det andre borehullet 16 på én gang. En mottaker som har fem slike mottakerenheter er beskrevet for eksempel i salgsbrosjyren med tittelen "Multilevel Receiver", Western Atlas Logging Services, Houston, Texas, 1994. Mottakeren 18 kan også senkes ned i og trekkes tilbake fra borehullet ved hjelp av en armert elektrisk kabel 13 eller lignende bærer kjent innen faget. Mottakeren 18 kan omfatte hydrofoner, eller helst

flere geofoner som hver er følsomme overfor bevegelse langs en sensorakse. En foretrukket type mottakere som kan utføre målinger som behøves for oppfinnelsen er beskrevet i "Multi-level Receiver" nevnt ovenfor.

5 Kilden 10 blir periodisk brukt for energiutsendelse, vist som bølger 15, inn i de geologiske formasjonene. De seismiske bølgene 15 beveger seg gjennom formasjonene og når eventuelt mottakeren 18. Ved å utelukke fra beskrivelsen
10 effektene av hvilken som helst refraksjon som måtte finne sted, beveger de seismiske bølgene 15 seg generelt langs de korteste baner, vist ved 19 mellom kilden 10 og mottakeren 18. En av mottakerenhetene vil generelt være plassert langs en av de korteste banene 19 til det andre borehullet 16.

Under innsamling av seismiske signaler for oppfinnelsen,
15 kan kilden 10 brukes for energiutsendelse flere ganger, og energien mottas ved forskjellige mottakerenheter, og mottakerenheten 18 kan flyttes til et nytt utvalgt dybdenivå innenfor det andre borehullet 16 hvorpå prosessen kan gjentas. Kilden 10 kan så flyttes til en forskjellig utvalgt
20 dybde innenfor borehullet 12, og brukes for energiutsendelse mens mottakeren igjen er plassert ved sine tidligere utvalgte dybder slik at den seismiske energien kan bevege seg langs de korteste baner 19. Fremgangsmåten for å undersøke ved flere forskjellige utvalgte mottakerdybder og utvalgte kildedybder
25 kan bedre forstås ved å henvise til figur 1B. De forskjellige dybdene hvor mottakerenhetene er plassert er vist som 18A til 18G. Ved hver utvalgt mottakerenhetsdybde, for eksempel 18A, kan kilden (10 i figur 1A) brukes til energiutsendelse ved sin egen utvalgte dybde som for eksempel 10A, og så flyttes
30 til en ny utvalgt dybde som 10B, og energiutsendelses- og mottakelsesprosessen kan gjentas, inntil alle de utvalgte kildedybdene, 10B til 10G, som systemoperatøren har bestemt skal dekkes av undersøkelsen.

De seismiske bølgene (15 i figur 1A) kan, avhengig av
35 hva slags kilde 10 som benyttes, omfatte kompresjonsenergi

eller skjæreenergi, eller en kombinasjon av de to typene energi. I tillegg kan noen typer kilder som primært genererer kompresjonsenergi også generere skjæreenergi når de aktiveres i et fluid (ikke vist) som kan fylle det første borehullet 12, hvor skjæreenergien er et resultat av interaksjon av kompresjonsenergi ved kontaktflaten mellom den geologiske formasjonen og fluidet. Kontaktflaten er veggen i det første borehullet 12. Som et resultat av dette kan både kompresjons- og skjærbølgeenergi bevege seg gjennom formasjonen til mottakeren (18 i figur 1A). Signal generert av mottakeren 18 som respons på den seismiske energien kan inneholde komponenter av skjær- og kompresjonsenergi.

Etter at de seismiske signalene har blitt samlet inn og registrert omfatter oppfinnelsen å separere signalkomponentene i hver individuell mottakers signal som resulterer fra kompresjonsenergi fra signalkomponenter som kommer fra skjæreenergi. Fremgangsmåter for å skille ut kompresjons-signalkomponenter (P) fra skjærbølgekomponenter (S) er kjent innen faget. Separasjonsfremgangsmåten som velges vil avhenge mellom annet av om mottakeren (18 i figur 1A) omfatter hydrofoner eller flerkomponentsgeofoner. Hvis mottakeren 18 omfatter hydrofoner, kan kompresjons- og skjærbølge- (P/S-) signalkomponentseparasjon utføres ved hastighetsfiltrering. Fremgangsmåter for hastighetsfiltrering er kjent innen geofysikken. Hastighetsfiltrering kan separere P- og S-komponentene fordi, som kjent i geofysikken, kompresjonsenergi forplanter seg gjennom de geologiske formasjonene tilnærmet dobbelt så fort som skjærbølgeenergi.

Alternativt, hvis mottakeren 18 omfatter flerkomponentsgeofoner, kan P- og S-signalkomponentenes separasjon utføres ved å identifisere bevegelsesretningen av formasjonens partikler med hensyn til utbredelsesretningen av den seismiske energien. Generelt vil kompresjonsenergi ha partikkelbevegelse vesentlig parallell med utbredelsesretningen av den seismiske energien. Skjæreenergi, på den annen side, vil ha

partikkelbevegelse i det vesentlige på tvers av energiens utbredelsesretning. Geofoner i det andre borehullet 16, som er orientert for å være sensitive overfor partikkelbevegelse parallell med utbredelsesretningen mellom kilden 10 og mottakeren 18 vil detektere kompresjonsenergien. Geofoner orientert for å være sensitive overfor partikkelbevegelse vesentlig på tvers av utbredelsesretningen vil fange opp skjærenergien. Hvis geofonene er orientert med skrå vinkel i forhold til utbredelsesretningen, finnes det fremgangsmåter kjent innen faget, for eksempel hodografi, for å løse partikkelbevegelsen ut fra signalene i de individuelle geofonene. Eksempler finnes "Vertical Seismic Profiling", Bob A. Hardage, Geophysical Press, London, 1983, pp. 308-309.

Etter at P- og S-signalkomponentene er separert, kan frekvensspekteret bestemmes for hver av signalkomponentene. Bestemmelsen av frekvensspekteret kan utføres ved en såkalt hurtig "Fast" Fouriertransform (FFT) eller lignende spektralanalyse kjent innen faget. Resultatet av spektralanalysen omfatter typisk et forhold av signalkomponentamplitude med hensyn til frekvens. Dette forholdet kan representeres grafisk eller kan presenteres som en serie ordnede par som representerer frekvens og amplitude. For enkelhets skyld for systemoperatøren kan et tredje forhold genereres fra P- og S-spektrene ved forholdet av P-komponentamplitude til S-komponentamplitude: P/S-forholdet eller dets inverse: S/P-forholdet.

Analyse av det individuelle signalkomponentspekteret kan så utføres ved en fremgangsmåte beskrevet i US-patent nr. 5,144,590 (Chon). Kort sagt kan P-, S-, og P/S-forholds-komponentene med hensyn til frekvens, summeres eller stakkes for hvert intervall som representerer en felles dybde i det første borehullet 12 for kilden 10. Spekteret som representerer dybder for den felles mottakeren 18 i det andre borehullet 16 kan også stakkes. De stakkede felleskildedybdespektrene kan sammenlignes med de stakkede felles-

mottaker-dybdespektra for hvert dybdeintervall som faller innenfor en søkeåpning mellom det første borehullet 12 og det andre borehullet 16.

Eksempler på konnektivitetsskart-plott for P-, S- og P/S-forholdskomponentene generert ved fremgangsmåten ifølge Chons '590-patent er vist i figur 2. Et P-komponent-konnektivitetsskart er vist ved 20. S-komponent- og S/P-forholdskomponent- (som er funksjonelt ekvivalent med P/S-forholdskomponenten) konnektivitetsskart er vist, respektive ved 22 og 24.

Det er nå kjent at trekk som tilsvarer signifikante trekk i reservoaret 17 som er identifiserbare i separate P- og S-spektral-konnektivitetsskartlegging ikke kan identifiseres i konnektivitetsskart generert ved den kjente teknikk, som omfatter å analysere sammensatte spektra som består av både P- og S-komponenter. Et eksempel på et trekk som kan identifiseres ved separate P- og S-komponent-konnektivitetsskartlegging er et tilfelle hvor reservoaret 17 er i det vesentlige fylt med gass hvor den skjærer det første 12 og det andre 16 borehullet, men omfatter et vannførende intervall mellom det første 12 og det andre 16 borehullet. Et konnektivitetsskart generert ifølge den kjente teknikk ville typisk indikere en mangel på konnektivitet mellom borehullene 12 og 16 fordi dempningen (attenuasjonen) for kompresjonsenergien ved reservoaret 17 er avhengig av fluidinnholdet i reservoaret. I oppfinnelsen imidlertid vil S-komponent-konnektivitetsskartet indikere full konnektivitet mellom borehullene fordi skjærbølgedempningen er vesentlig upåvirket av fluidinnholdet i porerommene i formasjonen. Et P-komponent-konnektivitetsskart av de samme signalene ville indikere en manglende konnektivitet mellom borehullene i denne situasjonen. Indikasjoner på konnektivitet i S-komponent-kartet kombinert med indikasjoner på manglende konnektivitet på P-komponent-kartet indikerer dette trekket, mens fremgangsmåten ifølge den kjente teknikk kun ville indikere mangel på geologisk kontinuitet mellom borehullene.

En annen undergrunnsegenskap som kan identifiseres ved hjelp av oppfinnelsen er en forskyvningsdiskontinuitet, kjent som en "lekkende forkastning" i formasjonslagene som er permeable for fluider. Generelt gir forkastnings-

5 diskontinuiteter hydraulisk isolasjon mellom formasjonslagene som befinner seg på motsatte sider av forkastningen. I tilfellet med en hydraulisk isolerende forkastning ville S-komponentkartet indikere hydraulisk kontinuitet tvers over forkastningen. Hvis forkastningen lekker, vil fluid som

10 beveger seg langs forkastningsplanet opptre som en barriere for transmisjon av skjæreenergi på tvers av planet. S-komponent-konnektivitetskartet ifølge oppfinnelsen ville indikere mangel på konnektivitet mellom to borehull adskilt av en lekkende forkastning.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å bestemme kontinuitet av geologiske formasjoner mellom borehull ved hjelp av analyse av seismisk energi påført formasjonene i et borehull og mottatt i et annet borehull, omfattende følgende trinn:

- a) bestemmelse av et frekvensspektrum av en kompresjonskomponent av den seismiske energien ved utvalgte dybder i formasjonene,
- b) samling av fellespåførte dybdestakker av kompresjonskomponentene ved utvalgte dybder i det første borehullet (12) hvori den seismiske energien er påført,
- c) samling av fellesmottatte dybdestakker av kompresjonskomponentene ved utvalgte dybder hvor energien er mottatt i det andre borehullet (16),
- d) plotting av de samlede fellespåførte dybdestakker av kompresjonskomponentene, og
- e) plotting av de samlede fellesmottatte dybdestakker av kompresjonskomponentene, slik at formasjoner som har relaterte frekvensspektra av kompresjonskomponentene kan identifiseres,

k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten videre omfatter følgende trinn:

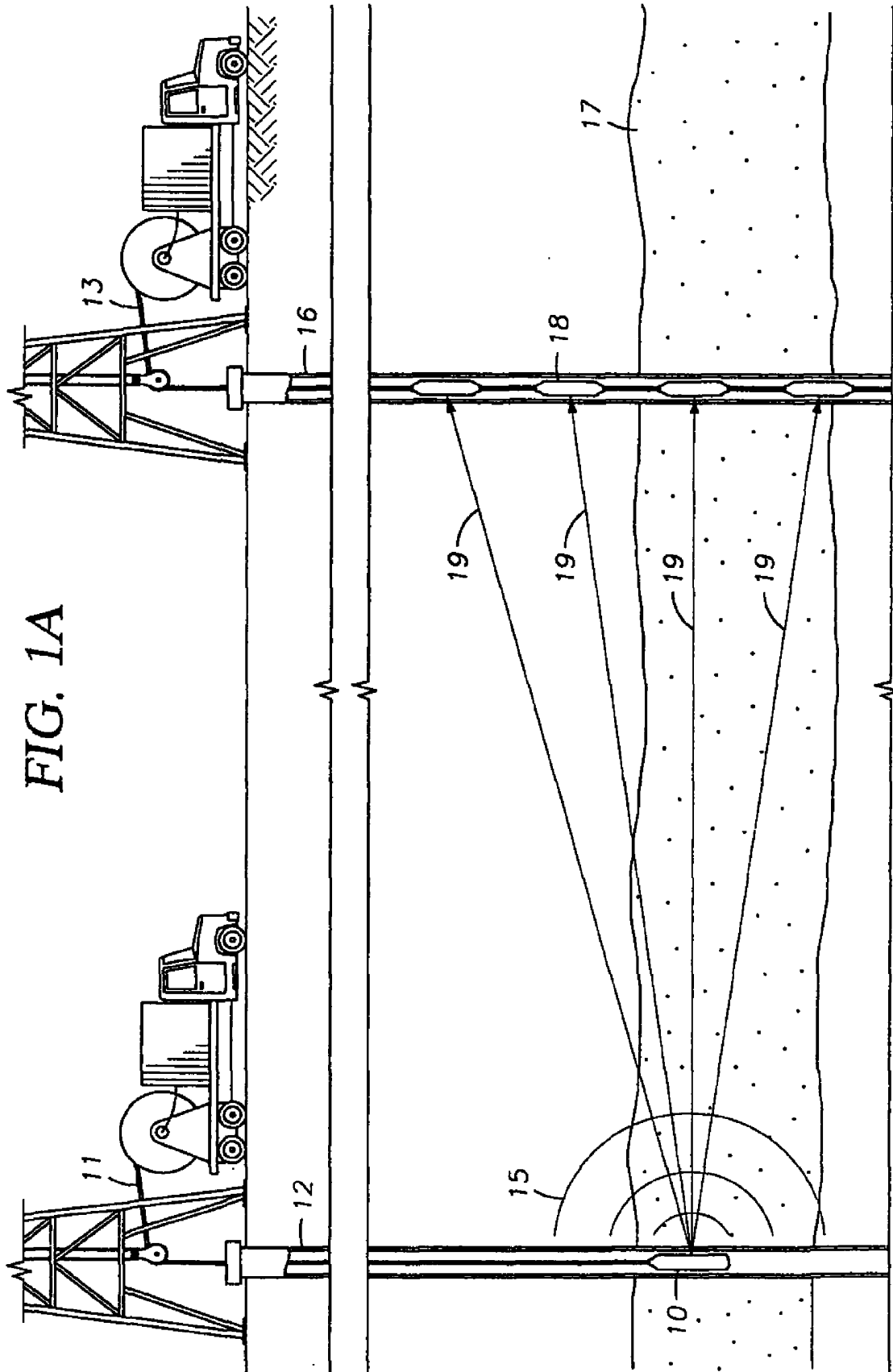
- f) separering av kompresjonskomponenten fra en skjærbølgekomponent av den seismiske energien før trinn a),
- g) bestemmelse av et frekvensspektrum av skjærbølgekomponenten av den seismiske energien ved utvalgte dybder i formasjonene,
- h) samling av fellespåførte dybdestakker av skjærbølgekomponentene ved utvalgte dybder i det første borehullet (12) hvori den seismiske energien er påført,
- i) samling av fellesmottatte dybdestakker av skjærbølgekomponentene ved utvalgte dybder hvor energien er mottatt i det andre borehullet (16),

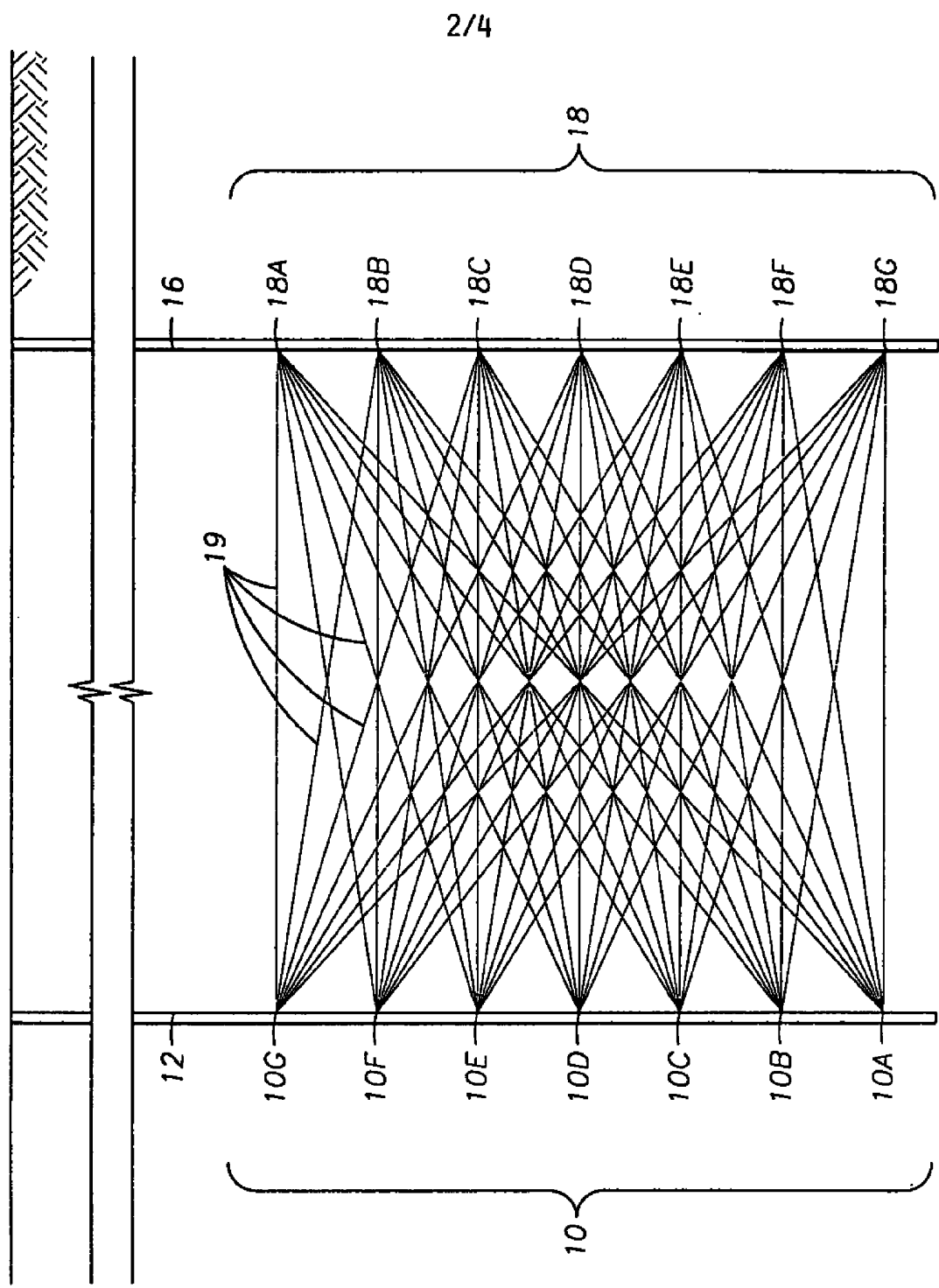
- j) plotting av de samlede fellespåførte dybdestakker av skjærbølgekomponentene,
 - k) plotting av de samlede fellesmottatte dybdestakker av skjærbølgekomponentene, slik at formasjoner som har relaterte frekvensspektra av skjærbølgekomponentene kan identifiseres, og
 - l) sammenligning av formasjonene som har relaterte frekvensspektra av skjærbølgekomponentene med formasjonene som har relaterte frekvensspektra av kompresjonskomponentene, og ut fra denne sammenligning bestemmelse av kontinuitetsgraden i reservoaret (17) mellom det første borehullet (12) og det andre borehullet (16).
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved følgende trinn:
- i) beregning av et forholdsspektrum, omfattende et forhold mellom amplituden av kompresjonskomponenten og amplituden av skjærbølgekomponenten ved hver frekvens i spektrene av kompresjonskomponenten og skjærbølgekomponenten, for hver av de utvalgte dybder,
 - ii) samling av fellespåførte dybdestakker og fellesmottatte dybdestakker for forholdsspektrene, og
 - iii) plotting av de fellespåførte dybdestakkene og fellesmottatte dybdestakkene for forholdsspektrene, slik at trekk ved de geologiske formasjonene mellom borehullene (12, 16) kan identifiseres.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, karakterisert ved at trinnet med separering av komponentene omfatter hastighetsfiltrering.
4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, karakterisert ved at mottagelsen av energien utføres av hydrofoner.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at mottagelsen av
energien utføres ved flerkomponentsgeofoner.

- 5 6. Fremgangsmåte ifølge krav 5,
k a r a k t e r i s e r t v e d at trinnet med separering
av komponentene omfatter generering av et hodogram av den
mottatte energien hvorved en retning av partikkelbevegelsen
av energien med hensyn til en utbredelsesretning av energien
10 kan bestemmes, slik at skjærbølgekomponentene og kompresjons-
komponentene kan identifiseres og separeres.

FIG. 1A





2/4

FIG. 1B

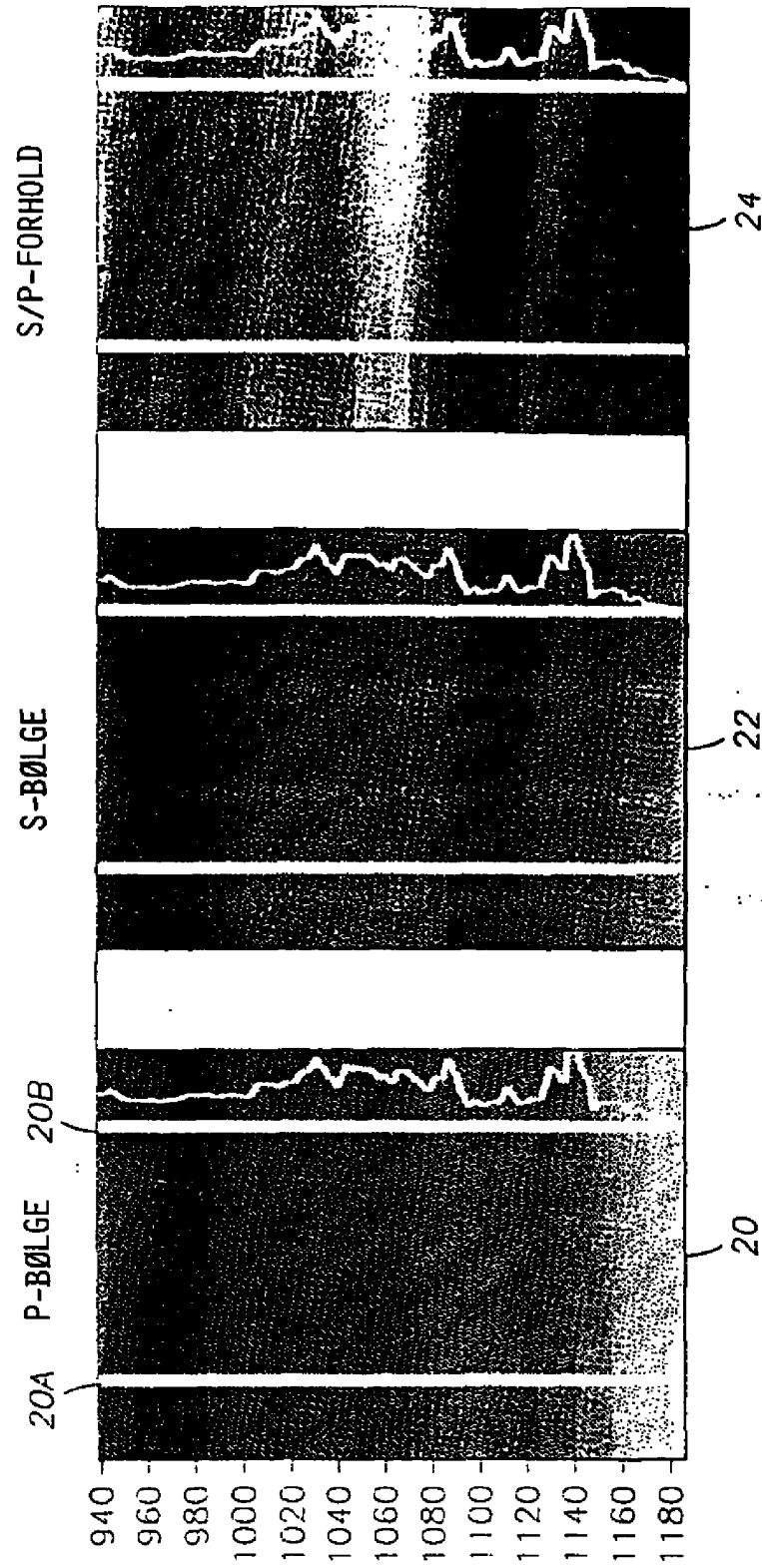


FIG. 2

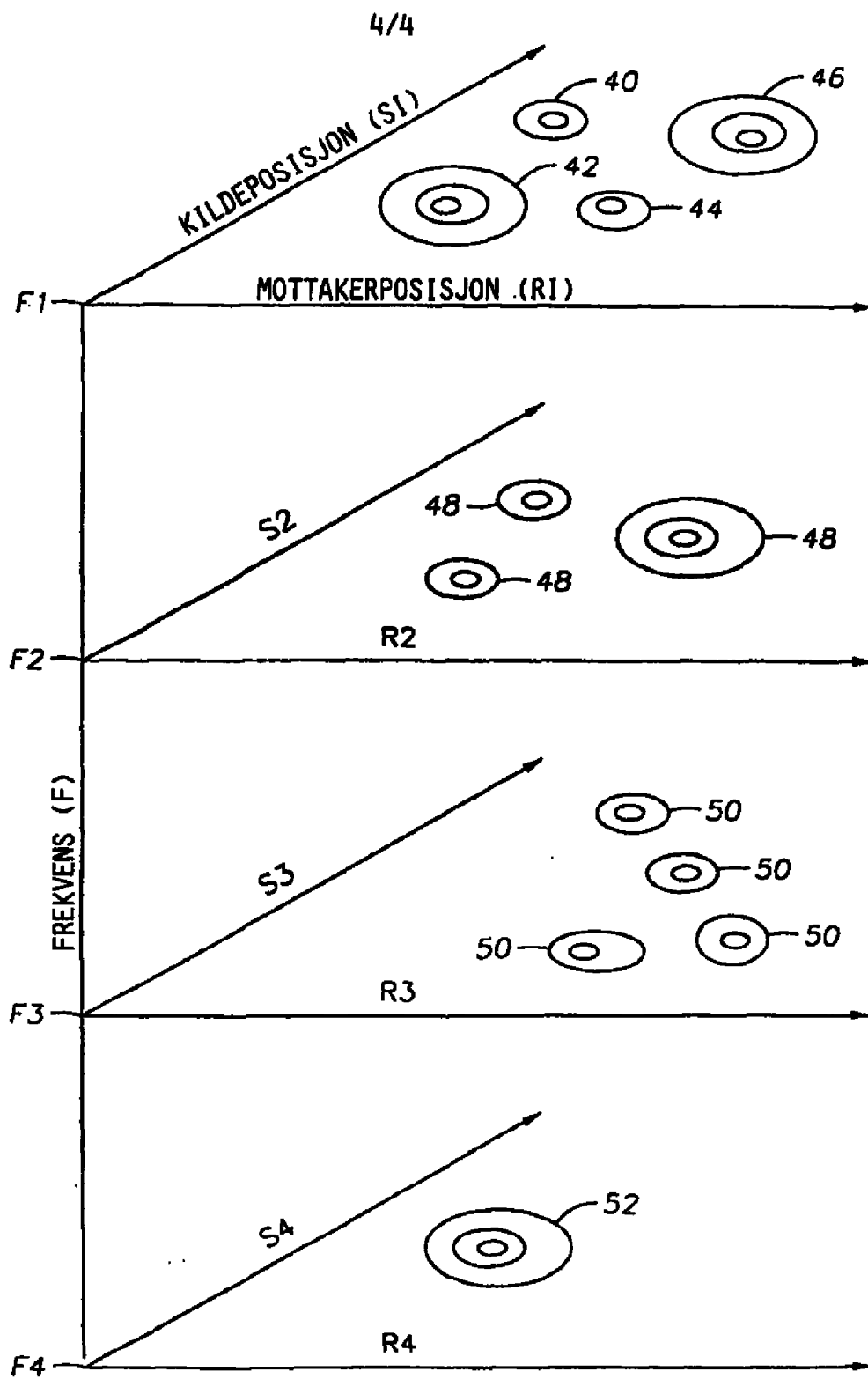


FIG. 3