



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **329316**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.
G01V 1/38 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20032702	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2001.12.10 PCT/US2001/47837
(22)	Inng.dag	2003.06.13	(85)	Videreføringsdag	2003.06.13
(24)	Løpedag	2001.12.10	(30)	Prioritet	2000.12.20, US, 257347
(41)	Alm.tilgj	2003.06.13			
(45)	Meddelt	2010.09.27			
(73)	Innehaver	ExxonMobil Upstream Research Company, P. O. Box 2189, Corp-urc-sw348, US-TX77252-2189 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Paul J Lee, 12467 Barryknoll Lane, Houston, TX 77024, US-, USA Warren S Ross, 515 Nottingham Oaks Trail, US-TX77079 HOUSTON, USA John V Young, 18502 Campers Crest, Humble, TX 77346, US-, USA Michael M Zhang, 6410 Walston Bend Drive, Sugar Land, TX 77479, US-, USA Doug Angevine, 1136 Sugarloaf Drive, Spring, TX 77379, US-, USA Steve E Heiney, 520 East 24th Street, Houston, TX 77008, US-, USA			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, Postboks 7007 Majorstua, 0306 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for undertrykking av multipler basert på faserekker			
(56)	Anførte publikasjoner	US 4,618,024			
(57)	Sammendrag				

Et apparat og en fremgangsmåte for å undertrykke seismiske multipler (figur 1), benyttet ved innsamling av marine seismiske data (106) med kildene (104), og mottakerne (105), plassert i det vandige marine seismiske undersøkelsesmiljø (102), og med mottakerne plassert i vannet og nær under overflaten (103), og kilder med en boblediffusor (101) plassert slik at boblene utsendt av diffusoren posisjoneres mellom mottakerne og grensesnittet luft-vann, og hvor de utsendte bobler gir høy akustisk refleksjon og undertrykker speilende refleksjon av seismiske bølger ved bruk av en boblestyringsenhet (106), for å aktivere diffusoren under innsamlingen av seismiske data under undersøkelsen.



Oppfinnelsens område

Denne oppfinnelse vedrører generelt området geofysisk prospektering. Nærmere bestemt er oppfinnelsen en fremgangsmåte for undertrykking av multipler ved innsamling av marine seismiske data.

5 Bakgrunn for oppfinnelsen

I marine seismiske data er en av de mest fremtredende kilder for støy ekko forårsaket av oppkommende seismiske bølger som tidligere har blitt reflektert av grensesnittet luft-vann. Denne type støy kalles "multipler" og reilluminerer vannbunnen og reflektorer i undergrunnen med tidslatens eller ventetid. Følgelig genererer multipler falske bilder av undergrunnen og forsinker nøyaktig tolkning av marine seismiske data. Hensikten med foreliggende oppfinnelse er å undertrykke eller redusere multiplenergi ved tidspunktet for innsamling av data.

Det finnes flere fremgangsmåter for dataprosessering for å eliminere eller redusere multiplene i seismiske data. De fleste av disse fremgangsmåtene er basert på å filtrere multipler ut av dataene ved å dra fordel av deres unike egenskaper. Disse egenskapene inkluderer prediktiv repetisjon med en konstant amplitude henfallshastighet og forskjellig utflytting fra det primære signalet. Andre mer avanserte metoder for dataprosessering involverer modulering av multiplene og å løse den fulle bølgelengden.

En annen klasse av fremgangsmåter for å redusere multipler i midlere vanndybder bruker en konfigurasjon for innsamling av marine seismiske data kalt "havbunnskabel" (OBC for Ocean Bottom Cable). Denne type innsamling plasserer forskjellige sensorer, typisk hydrofoner og geofoner, i en kabel på vannbunnen for å måle både trykk og partikkelhastighetsbølger, respektivt. Kombinert med en egnet prosesseringsalgoritme kan disse fremgangsmåter subtrahere en del multiplenergi fra de innsamlede seismiske data.

Kontaminering med multipler er en fundamental hemsko for bruk av detaljert analyse av seismiske amplitudedata i mange prospekteringsområder. Komplekse multipler forstyrrer målhorisonter alvorlig, noe som gjør strukturell og basal stratigrafisk kartlegging vanskelig og seismiske amplituder blir av liten verdi. Aggressiv bruk av dagens utbedringsmetoder har ikke greid å vesentlig forbedre datakvaliteten,

særlig når multiplene er mer enn en størrelsesorden sterkere enn de primære signaler av interesse.

W.H. Clarks US Patent 4,625,302, "Acoustic Lens for Marine Seismic Data Multiple Reflection Noise Reduction", utgitt 25. november 1986, beskriver en fremgangsmåte for reduksjon av multipler ved innsamling av marine seismiske data ved bruk av luftbobler. Clarks patent baserer seg på en refraksjonsmekanisme oppnådd ved å senke lokal lyd hastighet i forhold til nominell lyd hastighet i vann. Dette oppnås ved en bobleemitter konfigurert til å frembringe en akustisk linse av luftbobler. Boblelinsen er konstruert for å refraktere i stedet for reflektere multiplene lateralt og dermed vekk fra mottakerne.

P. D'Antonio et al, US Patent 5,401,921, "Two-Dimensional Primitive Root Diffusor", utstedt 28. mars 1995 til RPG Diffusor Systems, Inc., beskriver en todimensjonal akustisk diffusor basert på en stamrotsekvens. Denne diffusoren er konstruert med faste materialer, ikke luftbobler. Den har en relativt liten størrelse (60 x 60 cm for en periode av todimensjonal stamrotsekvens) fordi den er konstruert for å diffusere lydbølgelengder i luft. I tillegg til fasegitteret baserer den seg også på lydabsorbering av bakplanet. Hovedbruken er for å undertrykke lyd i avgrensede luftrom slik som konsertlokaler og opptaksstudioer.

W.H. Berhens US Patent 5,959,938, "Tuned Bubble Attenuator for Towed Seismic Array", utstedt 28. september 1999, beskriver en fremgangsmåte for å dempe horisontalt utsendt akustisk energi i et marint miljø ved bruk av utsendte bobler. Berhen's patent bruker dempningsmodus i stedet for refleksjonsmodus, ved å forsøke å skape relativt store (> 9 mm) bobler på resonansfrekvensen til den seismiske bølge. De utsendte bobler er plassert nær den seismiske kilde og deres hensikt er å begrense forplantning i sideretning for å fremme signal til støyforholdet, istedenfor å dempe multipler.

US Patent 4,618,024 til Domenico beskriver et slept seismisk kildesystem for bruk i vanddekkede områder omfattende en konvensjonell kilde og streamer med flere mottagere, og i tillegg er det mellom kilden og mottagerne et volum av vannlegemet som inneholder en liten prosentdel fri gass for å danne en blanding av gass og vann. Volumet av gass-vann-blandingen er av valgt størrelse og form til å danne et grensesnitt mot det gassfrie vannet for å danne en paraboloid som virker til å reflektere og dempe akustiske bølger som treffer grensesnittet og slik minimalisere utvendig seismisk støy.

Sammenfatning av oppfinnelsen

- Foreliggende oppfinnelse er et apparat for å undertrykke multipler ved innsamling av marine seismiske data. Apparatet omfatter minst en kilde plassert i vannlegemet, i det minste en mottaker plassert i vannlegemet under grensesnittet luft-vann og nær kildene, en boblediffusor plassert i vannlegemet slik at boblene utsendt av boblediffusoren plasseres mellom mottakerne og grensesnittet luft-vann, hvorved de utsendte bobler gir høy akustisk refleksjon og vesentlig undertrykker speilende refleksjon av seismiske bølger, og en kontroll for å aktivere boblediffusoren under innsamling av seismiske data av kildene og mottakerne.
- Foreliggende oppfinnelse er også en fremgangsmåte for å undertrykke multipler ved innsamling av marine seismiske data. I det minste en kilde og i det minste en mottaker plasseres i et vannlegeme med mottakerne plassert under grensesnittet luft-vann. En boblediffusor plasseres i vannlegemet slik at boblene utsendt av boblediffusoren plasseres mellom mottakerne og grensesnittet luft-vann. De utsendte boblene gir høy akustisk refleksjon og vesentlig undertrykker speilende refleksjon av seismiske bølger. Boblediffusoren aktiveres under innsamlingen av seismiske data av kildene og mottakerne.

Kortfattet beskrivelse av tegningene

- Foreliggende oppfinnelse og dens fordeler kan lettere forstås ved henvisning til etterfølgende detaljerte beskrivelse og de vedføyde tegninger hvor:

Figur 1a og 1b viser en utførelse av apparatet ifølge foreliggende oppfinnelse for å undertrykke multipler ved innsamling av marine seismiske data, sett respektivt ovenfra og fra siden,

- figur 2a til og med 2d viser to utførelser av apparatet i foreliggende oppfinnelse sett ovenfra og bakfra,

figur 3a viser en utførelse av den kileformede boblediffusoren med åtte bunter av porøse luftslanger stablet vertikalt,

figur 3b viser en utførelse av den kileformede boblediffusoren med ti luftslanger viklet rundt en understøttende stålkabel,

figur 3c viser en utførelse av den kileformede boblediffusor med 300 slepte luftlinjer,

figur 4 er et flytskjema som illustrerer trinnene i fremgangsmåten for en utførelse av foreliggende oppfinnelse for å undertrykke multipler ved innsamlingen av marine seismiske data,

figur 5 illustrerer et eksempel på et vertikalt orientert fasegitter konstruert i samsvar med foreliggende oppfinnelse,

figur 6a og 6b viser profiler av en faserekke beregnet for en stamrotsekvens respektivt uten og med fokuseringsteknikken ifølge foreliggende oppfinnelse,

figur 7 viser den normaliserte amplitude av overføringsfunksjonen for speilende spredning for multippelundertrykkere,

figur 8 viser en sammenligning mellom spektrene for speilende refleksjon for inngangspulsen respektivt uten og med multippelundertrykkere,

figur 9 viser de akustiske responser i tidsdomenet av multiplen, respektivt uten og med respektivt uten og med multippelundertrykkeren,

figur 10 viser en kileformet utførelse av multippelundertrykkeren benyttet i et småskala-feltekspementeksempel,

figur 11 viser en stamrotutførelse av multippelundertrykkeren benyttet i småskala-feltekspementeksemplet,

figur 12a og 12b viser seismiske bilder tatt respektivt uten og med den kileformede multippelundertrykkeren i figur 10, og

figur 13a og 13b viser seismiske bilder tatt respektivt uten og med den primitive rotmultippelundertrykkeren i figur 11.

Mens oppfinnelsen vil bli beskrevet i sammenheng med dens foretrukne utførelser, er det å forstå at oppfinnelsen ikke er begrenset til disse. Tvert i mot er den ment å dekke alle alternativer, modifikasjoner og ekvivalenter som kan inkluderes innen omfanget av oppfinnelsen, som definert av de vedføyde krav.

Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen

- Foreliggende oppfinnelse er et apparat og en fremgangsmåte for undertrykking av multipler ved innsamling av marine seismiske data. Ulikt de tidligere nevnte fremgangsmåter for dataprosessering, angriper foreliggende oppfinnelse genereringen av multipler ved grensesnittet luft-vann direkte. Foreliggende oppfinnelse gjør dette ved å frembringe faseendringer i den nedadgående bølgeform på grensesnittet luft-vann. Det fysiske konseptet for en faserekke er kjent innen områdene antenneteori, radar og sonar. Ved å illuminere en passende konstruert faserekke, kan mønstret av elektromagnetiske eller akustiske felt manipuleres. Faserekker har for eksempel blitt benyttet til å fremheve fremover-bakover forsterkning eller vinkelfølsomhet. Avhengig av valget av fasegitter er det mulig å redusere den speilende refleksjon av bølgefeltet og avlede bølgeenergi i retninger uten interesse. Denne type fasegitter er fordelaktig for å undertrykke multippelen, som genereres ved den speilende refleksjon av oppadgående seismiske bølger i grensesnittet luft-vann.
- Den multippelundertrykkende faserekken i foreliggende oppfinnelse blir implementert fysisk ved å frembringe overflater av høy akustisk refleksjon med dybdevariasjon nær grensesnittet luft-vann. Ved betraktning av området av bølgelengder av interesse for innsamling av marine seismiske data er det ikke gjennomførlig å bruke en fast struktur med de påkrevde akustiske egenskaper (for eksempel nær 100 % refleksjon) for å bygge en faserekke. Imidlertid er det mulig å reflektere seismiske bølger i en ønsket retning ved å injisere luftbobler inn i vannet. Foreliggende oppfinnelse bruker luftbobler (eller en blanding av luft og vann) for å oppnå de nødvendige akustiske egenskaper for refleksjon av den seismiske bølgen. Dette er diskutert i Domenico, S. N., "Acoustic wave propagation in air-bubble curtain in water – part I: History and theory", Geophysics, v.47, side 345-353, 1982. En liten mengde luft i vannet senker lydbølgehastigheten så mye at den seismiske bølge reflekteres fra grensen til luftblandet vann. Foreliggende oppfinnelse kan benyttes til forskjellige konfigurasjoner av innsamling av marine seismiske data, inkludert, men ikke begrenset til, tauede enkeltstreamer/multistreamer og 2-eller 4-komponent vannbunnkabler/sensorer (2/4C OBC/OBS).

- Figur 1a og 1b viser en utførelse av apparatet i foreliggende oppfinnelse for å undertrykke multipler ved innsamlingen av marineseismiske data ved bruk av en spesielt konfigurert boblediffusor 101, sett respektivt ovenfra og fra siden. Spesifikke utførelser for spesielle konfigurasjoner av boblediffusoren vil bli beskrevet i detalj i sammenheng med diskusjonen av figurene 2c og 2d nedenfor. Boblediffusoren 101

er plassert i et vannlegeme 102 med et grensesnitt luft-vann 103. I det minste én seismisk kilde 104 er plassert i vannlegemet 102 i eller under grensesnittet 103 luft-vann, som det er typisk i industrien, og i den generelle nærhet av boblediffusoren 101. De seismiske kildene 104 er fortrinnsvis luftkanoner eller marine vibrato-

5 rer, plassert enkeltvis eller i rekke, men kan være enhver annen passende marin-seismisk kilde kjent på området. De seismiske kildene 104 vil bli benyttet i sammenheng med boblediffusoren 101 ved innsamling av marine seismiske data.

I det minste én seismisk mottaker 105 er plassert i vannlegemet 102 nedenfor grensesnittet 103 luft-vann og i den generelle nærhet av kildene 104, som er typisk

10 i industrien. De seismiske mottakerne 105 er fortrinnsvis trykkfølere slik som hydrofoner, men kan være enhver annen passende sensor innrettet for det marine miljøet. De seismiske mottakerne 105 vil bli benyttet i sammenheng med kildene 104 og boblediffusoren 101 ved innsamlingen av marine seismiske data.

I en foretrukket utførelse blir både kildene 104 og mottakerne 105 tauet gjennom

15 vannlegemet 102 av et tauende fartøy 106. Dette tauende fartøy 106 er fortrinnsvis et seismisk fartøy utstyrt for denne oppgaven. Kildene 104 og mottakerne 105 kan taues av det samme, eller forskjellige tauende fartøyer 106. Kildene 104 kan taues i enkle eller multiple rekker, og mottakerne 105 kan taues i enkle eller multiple seismiske streamere. I en alternativ utførelse kan mottakerne 105 plasseres på

20 bunnen av vannlegemet 102 i en havbunnskabel. Her er mottakerne 105 fortrinnsvis trykk- og partikkelhastighetssensorer slik som hydrofoner og geofoner, respektivt, men kan være en hvilke som helst andre passende sensorer, slik som aksele-rometere, innrettet for det marine miljøet.

Boblediffusoren 101 plasseres i vannlegemet 102 i eller under grensesnittet luft-

25 vann 103 og i den generelle nærhet av kildene 104 og mottakerne 105. Boblediffusoren 101 kan festes til et støtteorgan 107 i noen utførelser. Boblediffusoren 101 utsender bobler 108 inn i vannlegemet 102. Boblediffusoren 101 er plassert slik at de utsendte bobler 108 plasseres mellom mottakeren 105 og grensesnittet luft-vann 103.

30 Figur 2a til og med 2d viser to utførelser av apparatet i foreliggende oppfinnelse sett ovenfra og bakfra. Ei trosse 109 er festet til boblediffusoren 101 eller støtteorganet 107 for boblediffusoren 101 og deretter til et fartøy for tauing. Trossa 109 kan festes til og taues av det samme tauende fartøyet 106 som tauer kildene 104 eller mottakerne 105. Alternativt kan trossen 109 festes til og taues av hjelpefar-

tøyer 110, slik som en eller flere tauebåter, som vist i figurene 2a og 2b. Hjelpesfartøyerne 110 assisterer de tauende fartøyerne 106 for å sette ut, taue og hente inn boblediffusoren 101. Alternative utførelser er også mulige. For eksempel kan boblediffusoren 101 taues foran de tauende fartøyer 106, i stedet for mellom de seismiske kildene 104 og mottakerne 105.

En slange for komprimert luft (ikke vist) for å forsyne komprimert luft til boblediffusoren 101 er festet til boblediffusoren 101 og til en kilde for komprimert luft (ikke vist). Kilden for komprimert luft kan være plassert på det tauende fartøyet 106 eller hjelpesfartøy 110 som tauer boblediffusoren 101, men kan også plasseres på et separat fartøy (ikke vist). Slangen for komprimert luft er fortrinnsvis konstruert for å levere tilstrekkelig trykk slik at de utsendte bobler 108 er av tilstrekkelig høy volumkonsentrasjon i vannet for å virke som en høyakustisk reflektor for seismiske bølger. Boblediffusoren 101 er fortrinnsvis også konstruert slik at de utsendte bobler 108 er av tilstrekkelig liten størrelse slik at boblene 108 stiger sakte i vannlegemet 102.

Det finnes mange måter for å blande luft inn i vann for å generere bobler. For eksempel kan trykkluft mates til en porøs keramisk stein for å generere fine luftbobler i vannet. Et annet eksempel er å bruke en vannpumpe som en propell for å male (grind) luft inn i vann for å frembringe en luft-vann-blanding som sendes til en porøs slange for å generere bobler. Foreliggende oppfinnelse er ikke begrenset til disse to metodene. Den dekker enhver metode for å manipulere de lokale, akustiske egenskapene for å konstruere en faserekke. Dette inkluderer, men er ikke begrenset til, luft eller gass, blandet eller oppløst, i vann eller fluid, ved mekaniske, elektriske eller kjemiske metoder. Et kontrollorgan (ikke vist) for å aktivere boblediffusoren 101 er festet til kilden for komprimert luft. Kontrollorganet brukes for å aktivere boblediffusoren 101 under innsamlingen av seismiske data ved bruk av kildene 104 og mottakerne 105.

Som nevnt ovenfor er boblediffusoren 101 spesielt konfigurert. Fortrinnsvis omfatter boblediffusoren 101 en rekke diffusorelementer 111. Utførelser av diffusorelementene 101 inkluderer, men er ikke begrenset til, luftdiffusorer med keramisk stein eller luftdiffusorer med porøs slange. Diffusorelementene 111 er fortrinnsvis plassert i et vertikalt orientert fasegitter. Diffusorelementene 111 er fortrinnsvis plassert i fasegitteret slik at de utsendte bobler 108 vesentlig undertrykker speilende refleksjon av oppgående seismiske bølger fra kildene 104. Fasegitteret er fortrinnsvis fokusert på et område av avstander til kildene 104 og mottakerne 105.

Det teoretiske konseptet bak den første utførelsen av fasegitteret i foreliggende oppfinnelse er matematisk basert på konseptet heltallssekvenser fra tallteori. Den matematiske basisen for dette diskuteres i nærmere detalj nedenfor. Disse heltallssekvensene kan brukes til å konstruere fasegitre av diffusorelementer 111 som vil
 5 benyttes til å interferere med multipler. Teoretisk vil det resulterende fasegitter diffusere den oppgående seismiske bølge slik at multiplene i den nedadgående speilende retning blir sterkt redusert. For bruk i foreliggende oppfinnelse, brukbare typer av heltallssekvenser inkluderer, men er ikke begrenset til, kvadratisk rest, primitiv polynom, stamrot, kompleks Legendre og Zech-logaritme. I denne første utførelsen er diffusorelementene 111 av fasegitteret plassert ifølge en diskret tallsekvens. Et eksempel på denne fasegitterkonfigurasjon er vist i figur 2d. Den foretrukne diskrete tallsekvens er en stamrotsekvens. Foreliggende oppfinnelse inkluderer også enhver type fasegitter annet enn de som er basert på heltallssekvenser eller ethvert annet aspekt av tallteori.

15 For eksempel i en annen utførelse, er diffusorelementene 111 av fasegitteret plassert i en vertikalt orientert, generelt oppad konkav form. Et eksempel på denne konfigurasjonen er vist i figur 2c. Den foretrukne oppad konkave form er en kileform, som peker oppover. Denne kileformen kan tenkes som en kontinuerlig versjon av faserekken basert på diskret nummersekvens beskrevet ovenfor.

20 For den kileformede utførelse av boblediffusoren 101 blir formen i tverrsnitt opprettholdt ved tensjonen mellom de tauende eller hjelpefartøyene 106, 110 og bøyer/stabilisatorer 112. En stabilisator eller klumpvekt (ikke vist) kan være påkrevd ved basis av kilen for å opprettholde den korrekte form. For utførelsen med stamrot av boblediffusoren 101 kan et nett, som vist i figur 2d, brukes som et støtteorgan
 25 107 for å opprettholde de passende dybdene av diffusorelementene 11. Nettet tau- es av trosser 109 festet til tauende fartøyene eller hjelpefartøyer 106, 110, og bøyer/stabilisatorer 112. Alternativt, for begge utførelser av boblediffusoren 101, kan diffusor-slange-sammensetningen festes direkte til de tauende eller hjelpefartøyene 106, 110 i stedet for til bøylene/stabilisatorene 112. Siden boblediffusoren 101 er
 30 laget av fleksible komponenter, slik som kabler, slanger og nett, kan komponentene lagres på tromler og lett settes ut og hentes inn av de tauende fartøyene eller hjelpefartøyene 106, 110.

For å oppnå høy akustisk refleksjon i det seismiske frekvensbåndet med luft, er det nødvendig å generere et lag av bobler 108 (eller blanding luft-vann) som er flere
 35 meter tykt. En enkel linje av diffusorelementer 111 (keramisk stein, porøs slange,

eller annet) har kanskje ikke høy nok luftstrømmingshastighet for å oppnå dette. Det er mulig å øke luftstrømmingshastigheten ved å stable multiple diffusorelementer 111. Figur 3a viser en annen utførelse av den kileformede boblediffusor 101 med en rekke bunter av porøse slanger 301 stablet vertikalt. Selv om åtte bunter av porøse slanger 301 er vist i figur 3a, er foreliggende oppfinnelse ikke begrenset til dette bestemte antallet. For å oppnå en høyere strømmingshastighet blir en rekke porøse slanger 302 viklet rundt en understøttende stålkabel 303 i omkretsretningen som vist i figur 3b. Selv om ti porøse slanger 302 er vist i figur 3b, er foreliggende oppfinnelse ikke begrenset til dette bestemte antall. Ved en kombinasjon av konsepter av utførelsene vist i figur 3a og 3b, er det mulig å øke strømmingshastigheten med en faktor av $8 \times 10 = 80$. En annen utførelse innrettet for å øke luftstrømmingshastigheten er vist i figur 3c. I denne utførelsen er det en rekke slepte luftlinjer 304 festet til en kileformet boblediffusor 101. Selv om 300 slepte luftlinjer 304 foreslås for utførelsen vist i figur 3c, er foreliggende oppfinnelse ikke begrenset til dette bestemte antallet. Hver slept luftlinje 304 utsender bobler 108 (som vist i figur 1). Med horisontal utstrekning i linjedimensjonen, kan de slepte luftlinjer 304 sammen forsyne mer luft enn en boblediffusor 101 med en enkelt luftlinje. Siden de slepte luftlinjer 304 er strømlinjet, har denne utførelsen mindre friksjon enn utførelsen i figur 3a. Den maksimale strømmingshastighet i denne utførelsen kan lett justeres ved å øke den totale lengde av de slepte luftlinjer 304. Som en variasjon av de slepte luftlinjer kan en kontinuerlig diffuserende overflate frembringes ved å sette de slepte luftlinjer ved siden av hverandre. Selvfølgelig kan alle tre konsepter involvert i figurene 3a-3c kombineres for potensielt å øke luftstrømmingshastigheten med mange størrelsesordener hvis nødvendig.

Figur 4 er et flytskjema som illustrerer trinnene i fremgangsmåten for en utførelse av foreliggende oppfinnelse for å undertrykke multipler ved innsamlingen av marine seismiske data, ved bruk av en spesielt konfigurert boblediffusor. Innsamlingen av marine seismiske data skjer i et vannlegeme med et grensesnitt luft-vann. Først, i trinn 401, blir minst én seismisk kilde plassert i vannlegemet, som er typisk i industrien. De seismiske kildene er fortrinnsvis luftkanoner eller marine vibratorer, plassert enkeltvis eller i rekker, men kan være enhver annen passende marinseismisk kilde kjent på området.

I trinn 402 blir minst én seismisk mottaker plassert i vannlegemet, i den generelle nærhet av de seismiske kildene, som er typisk i industrien. De seismiske mottakerne plasseres under grensesnittet luft-vann. Mottakerne er fortrinnsvis trykksensorer

slik som hydrofoner, men kan være enhver annen passende sensor innrettet for det marine miljøet.

I en foretrukket utførelse blir både de seismiske kildene og seismiske mottakerne fra respektivt trinn 401 og 402 tauet gjennom vannlegemet av seismiske fartøyer utstyrt for denne oppgaven, som er velkjent på området. Kildene og mottakerne kan taues av det samme eller forskjellige fartøyer. Kildene kan taues i enkle eller multiple rekker og mottakerne kan taues i enkle eller multiple seismiske streamere. I en alternativ utførelse kan mottakerne plasseres på bunnen av vannlegemet i en havbunnskabel. Her er mottakerne fortrinnsvis trykk- og partikkelhastighets-sensorer, slik som hydrofoner og geofoner, respektivt, men kan være hvilke som helst andre passende sensorer innrettet for det marine miljøet.

I trinn 403 blir en boblediffusor plassert i vannlegemet. Boblediffusoren plasseres slik at boblene utsendt fra boblediffusoren blir posisjonert mellom mottakerne og i grensesnittet luft-vann. Boblediffusoren blir fortrinnsvis tauet gjennom vannlegemet mellom mottakerne og grensesnittet luft-vann for å posisjonere de utsendte bobler passende. Boblediffusoren kan taues av de samme tauende fartøyer som tauer kildene eller mottakerne. Alternativt kan boblediffusoren taues av hjelpefartøyer, slik som en eller flere tauebåter.

I trinn 404 er boblediffusoren fra trinn 403 konfigurert slik at de utsendte bobler vesentlig undertrykker speilende refleksjon av oppgående seismiske bølger fra de seismiske kildene. Detaljene ved denne spesielle konfigurasjon beskrives i sammenheng med diskusjonen av figurene 2c og 2d ovenfor. I tillegg er de utsendte bobler fortrinnsvis av en tilstrekkelig høy volumkonsentrasjon i vannet slik at de kan virke som en høyakustisk reflektor av seismiske bølger. De utsendte bobler er fortrinnsvis også av tilstrekkelig liten størrelse slik at boblene stiger sakte i vannet og slik beholder sin effektive posisjon for en lengre tid.

I trinn 405 blir boblediffusoren fra trinn 403 aktivert under innsamlingen av marine seismiske data av kildene og mottakerne. Slik vil seismiske bølger som stammer fra den seismiske kilden og går oppover etter mulig refleksjon fra reflektorer nedenfor, være vesentlig avbøyd (deflected) til siden i stedet for reflektert ned fra grensesnittet luft-vann mot mottakerne. Dette vil redusere mengden støy forårsaket av multipler som registrert av mottakerne under innsamlingen av marine seismiske data.

Matematisk fundament

Foreliggende oppfinnelse avhenger av de reflekterende egenskapene til en faserekke plassert på en heltallssekvens fra tallteori. Blant de mulige fasegitre basert på heltallssekvenser, er stamrotsekvensen kjent å minimalisere hovedloben og ha jevnt fordelte sidelober. Dette er diskutert i Schroeder, M.R., "Phase gratings with suppressed specular reflection", *Acoustica*, v.81, side 364-369, 1995. Derfor velges stamrotsekvensen for å demonstrere hvordan en faserekke kan redusere multiple-

I tallteori kan man finne en stamrot for ethvert gitt primtall. Stamroten, g , for et primtall, p , er definert å være det minste primtall g som genererer et komplett sett av heltall mellom 1 og $p-1$ ved rester av primtallet p på de positive heltallspotenser av g . Ligning (1) viser genereringen av en stamrotsekvens.

$$\{\text{mod}(g^j, p), j=1, 2, \dots, p-1\} = \{\text{mod}(g^1, p), \text{mod}(g^2, p), \dots, \text{mod}(g^{p-1}, p)\}. \quad (1)$$

Her betyr $\text{mod}(a, b)$ den minste positive rest etter at heltallsmultipler av b er subtrahert fra a . Slik er $\text{mod}(6, 8) = 6 - (0 \times 8) = 6$ og $\text{mod}(11, 8) = 11 - (1 \times 8) = 3$. For eksempel har primtall $p=11$ stamroten $g=2$ og sammen genererer de den følgende sekvens.

$$\{\text{mod}(2^1, 11), \text{mod}(2^2, 11), \dots, \text{mod}(2^{10}, 11)\} = \{2, 4, 8, 5, 10, 9, 7, 3, 6, 1\}. \quad (2)$$

Ved å bruke stamrotsekvensen blir et fasegitter konstruert med faser i forskjellige posisjoner langs gitteret gitt ved:

$$\phi_j = \frac{2\pi \text{mod}(g^j, p)}{p}, \text{ hvor } j=1, 2, \dots, p-1. \quad (3)$$

Med fasegitteret ovenfor blir det oppnådd et uttrykk for den lineære rekkerespons A_k i fjernfeltet:

$$A_k = \sum_{n=0}^{p-2} \exp(i\phi_{n+1}) \exp\left(-2\pi i n w \sin \alpha_k / \lambda\right), \quad (4)$$

hvor $i = \sqrt{-1}$, λ er den akustiske bølgelengde i mediet, α_k er den innfallende polare vinkel (dvs. $\alpha_k=0$ korresponderer til den normale retning) og W er avstand mellom tilliggende elementer. Ved å subtrahere det ikke-dimensjonale romlige bølgetallet k , definert som $\frac{w(p-1)}{\lambda} \sin \alpha_k$, for sinus av den

5 innfallende polare vinkel, blir ligning (4):

$$A_k = \sum_{n=0}^{p-2} \exp(i\phi_{n+1}) \exp[-2\pi i n k / (p-1)] \quad (5)$$

Uttrykket ovenfor er den diskret Fourier transform (DFT) av fasegitterbidraget $\exp(i\Phi_j)$.

Størrelsen av A_k er kjent når det ikke-dimensjonale romlige bølgetall k er et heltall:

$$10 \quad |A_k| = \begin{cases} 1 & \text{for } k=0 \\ \sqrt{p} & \text{for andre heltallverdier av } k \end{cases} \quad (6)$$

Dette uttrykk angir simpelthen at den speilende refleksjon ($k=0$) er mindre enn sidelobene ($k \neq 0$) med en faktor av $\sqrt{p}$.

Også sammenlignet med tilfellet av null fasegitter (dvs. perfekt reflekterende overflate med $\Phi_j=0$), er den speilende refleksjon redusert med en faktor på p . Derfor, 15 når et stort primtall velges for en stamrotfaserekke, kan man sterkt redusere den speilende refleksjon og avlede energi i sideretningene.

Selv om stamrotsekvensen er vist som et eksempel kan andre typer heltallssekvenser eller til og med sekvenser med reelle tall benyttes i foreliggende oppfinnelse for undertrykkelse av multipler.

20 En måte å frembringe et fasegitter for seismiske (akustiske) bølger er å variere elevasjonen av en reflekterende overflate. Hvis referanse-elevasjonen av den reflekterende overflaten (dvs. grensesnittet luft-vann) settes til å være null grader fase og toveis banelengden mellom kilde og mottaker tas i betraktning, er overflate-elevasjonen z_j relatert til fasegitteret som:

$$z_j = \frac{\lambda}{2} \left(1 - \frac{\Phi_j}{2\pi} \right) . \quad (7)$$

I ligning (7), er λ lik bølgelengden for den laveste frekvens i signalbåndet fordi rekken ikke kan dekke fulle vinkler under denne frekvens.

Figur 5 illustrerer et eksempel på et vertikalt orientert fasegitter konstruert i sam-
 5 svar med foreliggende oppfinnelse. Siden fasegitteret er diskret, er også overflate-
 elevasjonen diskret. Slik består overflaten av flate, reflekterende overflater 101
 med diskret elevasjonsendringer 502 og jevn atskillelse 503. Bredden (avstanden)
 503 av en individuell overflate kan finnes fra forutsetningen bak ligning (4). For at
 ligning (4) skal være gyldig er avstanden w :

$$10 \quad w \leq \begin{cases} \lambda / 2 & \text{for normalt innfall} \\ \lambda / 4 & \text{for skrått innfall} \end{cases} \quad (8)$$

I ligning (8), er λ bølgelengden for den høyeste frekvens i signalbåndet fordi det
 påkreves å bruke en mer rigorøs formulering enn rekkeresponsen, ligning (5), over
 denne frekvens.

Ligning (4) ble utledet under forutsetning av at avstanden fra rekken til et feltpunkt
 15 er mye større enn rekkedimensjonene. Derfor er fasegitteret fokusert i uendelig
 avstand og kan kanskje ikke fungere godt på endelige avstander. For å fokusere
 fasegitteret på en endelig avstand bør den eksakte fase i en endelig avstand stem-
 me overens med den approksimerte fase i uendelig avstand. I tilfelle av normalt
 innfall blir den korrigerte overflateelevasjon z' oppnådd som:

$$20 \quad z' = \left(z - \frac{R_s + R_r}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{r^2}{(R_s - z)(R_r - z)}} + \frac{R_s + R_r}{2} , \quad (9)$$

hvor r er horisontalt koordinat på rekkeoverflaten, R_s er kildeavstanden, og R_r er
 mottakeravstanden. Hvis z og r er små sammenlignet med avstandene, kan ligning
 9 approksimeres som:

$$z' \approx z + \frac{r^2}{2} \frac{R_s + R_r}{2R_s R_r} . \quad (10)$$

Fokuseringsteknikken ovenfor er uavhengig av type fasegitter.

- For å interferere med multippelen i grensesnittet luft-vann må størrelsen av en faserekke være stor nok til å samvirke med Fresnelsonen av den oppgående seismiske bølge. Diameteren av Fresnelsonen (FZ) er:

$$FZ = \sqrt{2\lambda R_s} . \quad (11)$$

For en gitt sekvens av faser for et fasegitter kan antallet perioder i sekvensen simpelthen økes inntil faserekken dekker hele Fresnelsonen.

Eksempler

- Tabell 1 gir inngangsspesifikasjonen for et eksempel på en utførelse av foreliggende oppfinnelse. Dette eksemplet er et konstruksjonskonsept for en faserekkemultipelundertrykker for en høyoppløsnings seismisk skala. Faserekken er konstruert for å undertrykke vannbunnsgenererte multipler, inkludert kilde- og muligens mottakerside haltende (pegleg) multipler. Mottakerne konfigureres som en streamer utlagt under multippelsuppressoren.

Lydhastighet(c , m/s)	1500
Nedre frekvens (f_1 , Hz)	200
Øvre frekvens (f_2 , Hz)	700
Havbunnsdybde (d ,m)	100
Kilde småbølge	Rickerpuls med toppfrekvens på $f_{\text{peak}}=350$ Hz

Tabell 1

- En faserekke beregnes ved bruk av to perioder av en stamrotsekvens for $p=31$. Profilene av faserekken blir oppnådd og er vist i figur 6a og 6b. Figur 6a viser profiler beregnet for denne stamrotsekvensen ifølge ligning (7), mens figur 6b viser profiler beregnet på nytt med fokuseringsteknikken i ligning (9).

Figur 7, 8 og 9 viser den teoretiske ytelsen av denne faserekken når den underkastes en planbølge Rickerpuls. Figur 7 viser den teoretiske, normaliserte amplitude 701 av overføringsfunksjonen for speilende spredning. I figur 7 blir amplituden av rekkens overføringsfunksjon mindre enn 0,2 over den nedre konstruksjonsfrekvens (dvs. 200Hz) og avtar ettersom frekvensen øker. Det betyr at denne faserekke effektivt kan undertrykke multippelen med mer enn en faktor på 5 og over den nedre posisjonsfrekvens. Figur 8 viser sammenligningen mellom de teoretiske spektra for speilende refleksjon for inngangspulsen uten supressoren 801 og spektret av inngangspulsen med supressoren 802. Multippelsupressoren reduserer klart multippelen gjennom hele konstruksjonsbåndet. Figur 9 viser den teoretiske akustiske respons i tidsdomenet av multippelen uten supressoren 101 og responsen med multippelsupressoren 902. Toppundertrykkelsesforhold er omtrent 24,3 (= 28 dB) og rotmiddelskvadrat undertrykkelsesforhold er omtrent 12,8 (= 22 dB).

Selv om eksemplet vist ovenfor er innrettet for høyoppløsningsbølgelengder, kan den overføres til standard seismisk bølgelengde (10-100 Hz frekvensbånd), med en endring i skala. Seismisk skalerte streamerlengder er 3-5 km. For en 100 m havbunn, og en 150 m bølgelengde, blir god multippelundertrykkelse nådd for en diffusor 350 m bred rundt hver streamer (eller 175 m utenfor den ytterste kabel i et multistreamerekperiment). For et trippelstreamerekperiment med 100 m streameravstand i tverrlinjeretningen, medfører dette en total diffusorbredde på 550 m. Maksimal diffusordybde er halvparten av den lengste bølgelengde, som for 10-100 Hz seismiske data vil være 75 m. De fleste elementer i diffusoren ville imidlertid være kortere enn denne dybden. For en 500 m havbunn vil ikke maksimal diffusordybde endre seg, men dens bredde vokser til 700 m for trippelstreamerutførelsen ovenfor.

Småskalafeltekspirerenter ble utført for å måle den faktiske ytelse av utførelsen ovenfor i foreliggende oppfinnelse. Stedet for eksperimentet er en 60 m kvadratisk formet ferskvannsdam og den maksimale dybde i dammen er 7 m. En vannkanon ble benyttet som seismisk kilde og e4 kanaler med hydrofonddata ble registrert. Mekanismen for generering av luft benyttet mellom 24 og 32 mikroboblekeramiske steiner laget av Point Four Systems, Inc., Canada (modell MBD-600). Denne spesielle keramiske steinen kan generere luftbobler så små som 100 mikron i diameter. To utførelser av multippelsupressoren ifølge foreliggende oppfinnelse ble satt ut. Den første konfigurasjon, vist i figur 10, er en enkel kile-(V-)formet diffusor. Den andre konfigurasjon, vist i figur 11, er en stamrottdiffusor basert på primtall $p=17$ med endelig dybdefokusering ved bruk av metodene i ligning 9. Dette eksperimen-

telle opplegget miniatyriserte en vanlig fremgangsmåte for innsamling av marine seismiske data med et seismisk fartøy, tauede streamere (lineær hydrofonrekke), og en luftkanonrekke (seismisk kilde). Hele systemet (multippelsupressor, vannkanon, 4-kanals streamer, og globalt posisjoneringssystem) ble satt sammen til et
 5 stykke og tauet av en elektrisk vinsj. Hver mikroboblediffusor ble matet med komprimert luft.

Seismiske data ble samlet inn og prosessert med denne konfigurasjonen. Seismiske bilder ble oppnådd både uten og med multippelsupressoren i drift, dvs. at den genererte mikrobobler. Figur 12 a er målelinjen (baseline) seismisk bilde tatt med den
 10 kileformede multippelsupressor i figur 10 og uten multippelundertrykkelse. I figuren indikerer det heltrukne rektangulære vindu 1201 primærrefleksjon av seismiske bølger fra vannbunnen og det stiplede rektangulære vindu 1202 korresponderer til multippelenergien generert av den primære refleksjon og grensesnittet luft-vann. Disse to seismiske signalene er sterkt korrelert og derfor er bildet massivt kontaminert med multippelenergi. Figur 12b er et annet seismisk bilde tatt med den kile-
 15 formede multippelsupressor og 40 psi komprimert luft levert til mikroboblegeneratorene. Her er det multippelundertrykkelse ved fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse. Sammenlignet med figur 12a forblir det primære seismiske signal i det heltrukne rektangulære vindu 1203 uendret, men energien til multippelen i det
 20 stiplede rektangulære vinduet 1204 er synlig redusert. Selv etter multippeltidsvinduet inneholder dette bildet mindre ekkoenergi, som er en høyere ordens multippel (multippel generert av en multippel).

Figur 13a viser grunnlinje seismisk bilde tatt med stamrotmultippelsupressoren i figur 11 og uten multippelundertrykkelse. Som i figur 12a eksisterer den primære
 25 refleksjonen i det heltrukne rektangulære vindu 1301 og multippelenergien eksisterer i det stiplede rektangulære vinduet 1302. Figur 13b er et annet seismisk bilde tatt med stamrotmultippelsupressoren og 40 psi komprimert luft levert til mikroboblegeneratorene. Her er det multippelundertrykkelse ved fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse. Multippelenergien i det stiplede rektangulære vindu 1304,
 30 blir sterkt undertrykket sammenlignet med basislinjebilde i figur 13a. Selv den primære refleksjon i det heltrukne rektangulære vindu 1303 er endret. Mens basislinjebildene i figur 13a inneholder mottakersideskygge eller ekko 1305 (dvs. tidsforsinkelse forårsaket av avstand mellom mottakeren og grensesnittet luft-vann) interfererer multippelsupressoren med mottakersideekko 1306 i figur 13b. I tillegg er
 35 det fordelaktig for tolkningen av marine seismiske data å ikke ha mottakersideekko i dataene.

Feltekspementene i småskala verifiserer at fremgangsmåten i foreliggende oppfinnelse er effektiv for å fjerne multippelenergi ved innsamling av marineseismiske data. For å implementere foreliggende oppfinnelse i fullskala seismisk innsamling, kreves det hurtige, enkle og pålitelige metoder for utsetting og innhenting av

5 boblediffusoren og dette tilveiebringes av foreliggende oppfinnelse. Siden bredden av multippelsupressoren for full seismisk skala kan være i størrelsesorden en kilometer, blir fleksible innretninger laget av tensjonskabel og luftdiffuserende slanger, foretrukket fremfor faste/rigide innretninger. Som diskutert ovenfor, viser figur 2a-2d to eksemplise utsettingskonsepter av den kileformede og stamrotmultippel-

10 supressoren for fullskala seismisk innsamling. I tillegg til det seismiske hovedfartøyet kan to hjelpefartøyer assistere med å sette ut, taue og gjenvinne multippelsupressorene. Siden innretningene er laget av fleksible kabler, slanger og nett, kan de lagres på tromler og enkelt settes ut og hentes inn av arbeidsfartøyene. Alternative konfigurasjoner i tillegg til utførelsene diskutert her er også mulige. For ek-

15 sempel kan multippelsupressoren taukes foran det seismiske fartøy istedenfor mellom den seismiske kilde av streameren.

Foreliggende oppfinnelse inkluderer enhver annen metode som setter ut og henter inn multippelsupressorer, slik som bruk av naturlig flytende og strømlinjeformede hydrofoiler med innebygde keramiske luftdiffusorer. Foreliggende oppfinnelse inkluderer også enhver annen kabelkonfigurasjon som tillater bobleproduserende innret-

20 ninger å festes til kabelen og settes ut.

Det er å forstå at oppfinnelsen ikke er urettmessig begrenset til det foregående som har blitt satt frem for illustrasjonsformål. Forskjellige modifikasjoner og alternativer vil fremgå for fagfolk på området, uten å avvike fra omfanget av oppfinnelsen, som definert i

25

Patentkrav

1. Apparat for å undertrykke multipler ved innsamling av seismiske data i et vannlegeme (102) med et grensesnitt luft-vann (103), omfattende:
 - 5 - i det minste én kilde (104) plassert i vannlegemet (102),
 - i det minste én mottaker (105) plassert i vannlegemet (102) under grensesnittet luft-vann (103),
 k a r a k t e r i s e r t v e d
 - en boblediffusor (101) plassert i vannlegemet (102) slik at boblene (108) utsendt
 10 av boblediffusoren (101) posisjoneres mellom mottakerne (105) og grensesnittet luft-vann (103), idet nevnte boblediffusor (101) er konfigurert til å frembringe bob-
 lelag som kombinerer høy akustisk refleksjon med dybdevariasjon, idet nevnte dybdevariasjon er innrettet til å reflektere innfallende akustiske bølger vekk fra mottakerne (105), og nevnte høye akustiske refleksjoner betyr at boblelaget er
 15 vesentlig mer reflekterende enn refrakterende, og
 - en styringsenhet for å aktivere boblediffusoren (101) under innsamlingen av seismiske data av kildene (104) og mottakerne (105).
2. Apparat ifølge krav 1,
 k a r a k t e r i s e r t v e d at det videre omfatter: et støtteorgan (107) plassert i
 20 vannlegemet (102) under grensesnittet luft-vann (103) og festet til boblediffusoren (101), og ei trosse (109) festet til støtteorganet (107) for boblediffusoren (101) for å posisjonere de utsendte bobler (108) mellom mottakerne (105) og grensesnittet luft-vann (103).
3. Apparat ifølge krav 1,
 25 k a r a k t e r i s e r t v e d at det videre omfatter: en slange for komprimert luft for å levere komprimert luft til boblediffusoren (101) tilstrekkelig til å avgi bobler (108) som gir høy akustisk refleksjon.
4. Apparat ifølge krav 1,
 k a r a k t e r i s e r t v e d at boblediffusoren (101) omfatter en rekke diffosore-
 30 lementer (111).

5. Apparat ifølge krav 4,
karakterisert ved at diffusorelementene (111) er luftdiffusorer av ke-
ramisk stein.
6. Apparat ifølge krav 4,
5 karakterisert ved at hvert diffusorelement (111) omfatter minst en
luftdiffusor med porøs slange.
7. Apparat ifølge krav 4,
karakterisert ved at rekken av diffusorelementer (111) er plassert i en
vertikal orientering for å øke bobleutsendelsen.
- 10 8. Apparat ifølge krav 4,
karakterisert ved at rekken av diffusorelementer er plassert i en hori-
sontal orientering for å øke bobleutsendelsen.
9. Apparat ifølge krav 8,
karakterisert ved at rekken av diffusorelementer omfatter slepte porø-
15 se luftslanger.
10. Apparat ifølge krav 4,
karakterisert ved at diffusorelementet er plassert i et vertikalt orientert
fasegitter.
11. Apparat ifølge krav 10,
20 karakterisert ved at fasegitteret er fokusert på et område av avstander
til kildene og mottakerne.
12. Apparat ifølge krav 10,
karakterisert ved at diffusorelementene i fasegitteret er plassert ifølge
en diskret nummersekvens.
- 25 13. Apparat ifølge krav 12,
karakterisert ved at den diskrete nummersekvensen er en stamrotsek-
vens.

14. Apparat ifølge krav 10,
karakterisert ved at diffusorelementene i fasegitteret er plassert i en generelt oppad konkav form.
15. Apparat ifølge krav 14,
5 karakterisert ved at diffusorelementene i fasegitteret er plassert vesentlig i en kileform.
16. Fremgangsmåte for å undertrykke multipler under en innsamling av seismiske data i et vannlegeme (102) med et grensesnitt luft-vann (103), omfattende trinnene:
- 10 - plassering av minst én kilde (104) og minst én mottaker (105) i vannlegemet (102), hvor mottakerne er plassert under grensesnittet luft-vann (103), og karakterisert ved at
- utsending av bobler (108) mellom mottakerne (105) og grensesnittet luft-vann (103), slik at det dannes et boblelag med en nedre grenseflate med dybdevariasjon, idet nevnte dybdevariasjon er innrettet til å reflektere innfallende akustiske
15 bølger vekk fra mottakerne (105), og nevnte boblelag har en konsentrasjon av bobler som er tilstrekkelig til å lage boblelaget vesentlig mer reflekterende enn refrakterende.
17. Fremgangsmåte ifølge krav 16,
20 karakterisert ved at de utsendte bobler (108) er av tilstrekkelig liten størrelse slik at boblene stiger sakte i vannlegemet.
18. Fremgangsmåte ifølge krav 17,
karakterisert ved at nevnte dybdevariasjon er i henhold til en diskret tallsekvens.
- 25 19. Fremgangsmåte ifølge krav 18,
karakterisert ved at den diskrete tallsekvens er en stamrotsekvens.
20. Fremgangsmåte ifølge krav 17,
karakterisert ved at nedre grenseflate av boblelaget generelt er formet konkavt oppad i et tverrsnitt loddrett på retningen for seismisk datainnsamling.

21. Fremgangsmåte ifølge krav 20,
karakterisert ved at den konkave oppadvendte form er vesentlig en
kileform.



FIG. 1A

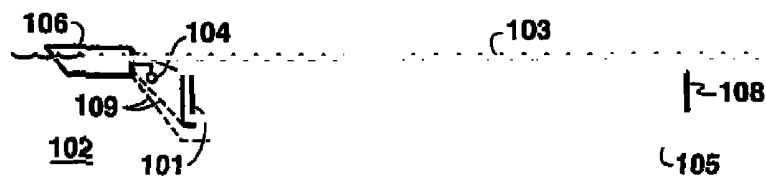


FIG. 1B

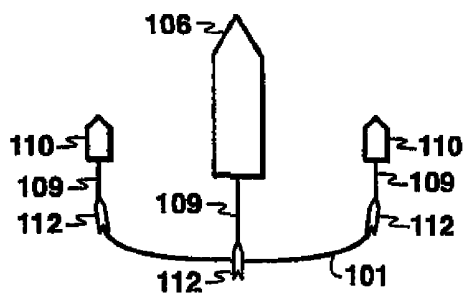


FIG. 2A

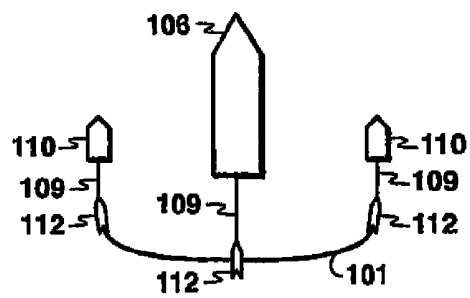


FIG. 2B

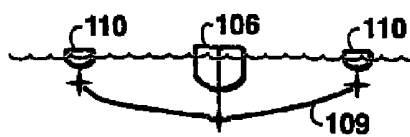


FIG. 2C

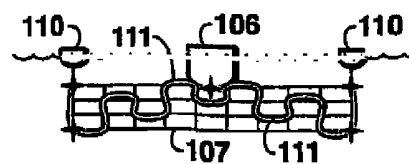


FIG. 2D

2/9

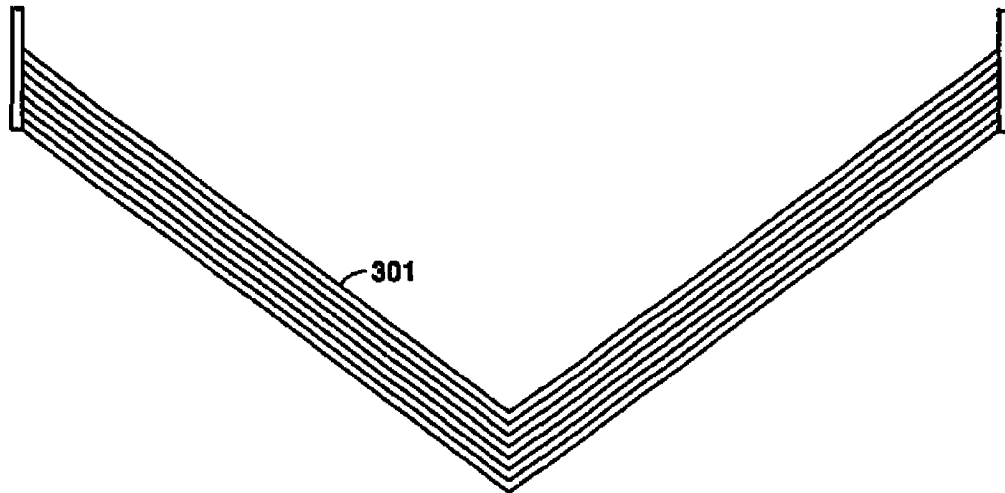


FIG. 3A

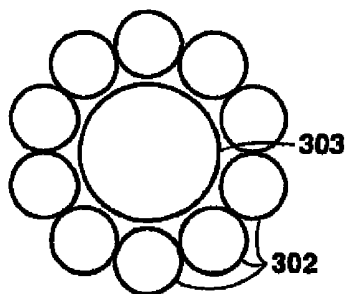


FIG. 3B

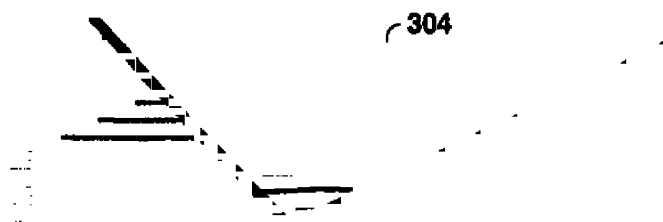


FIG. 3C

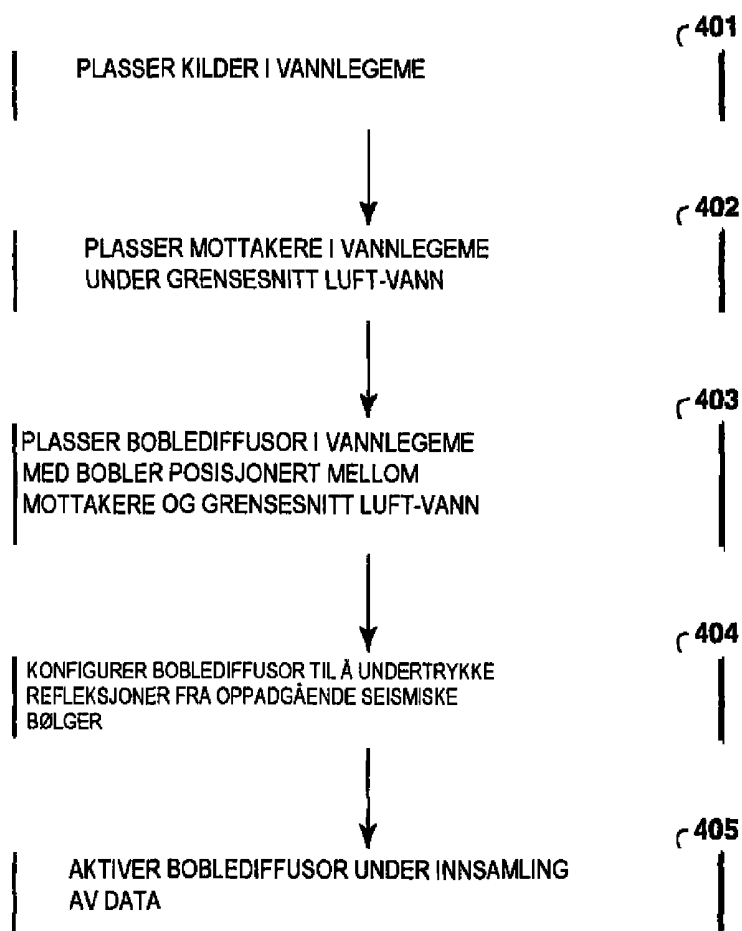


FIG. 4

4/9



FIG. 5

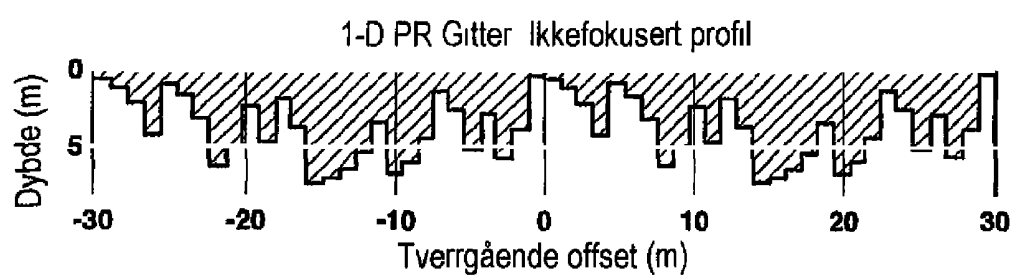


FIG. 6A

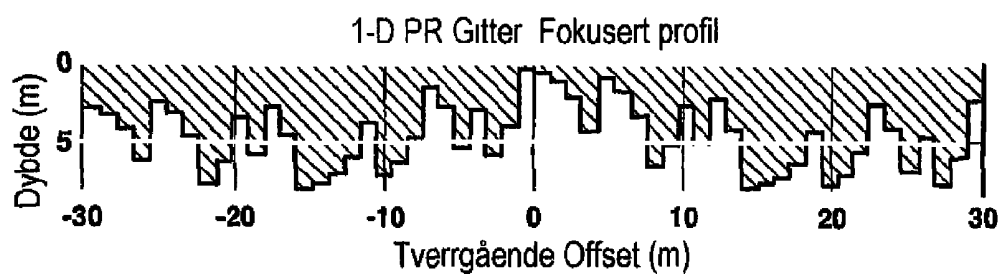


FIG. 6B

5/9

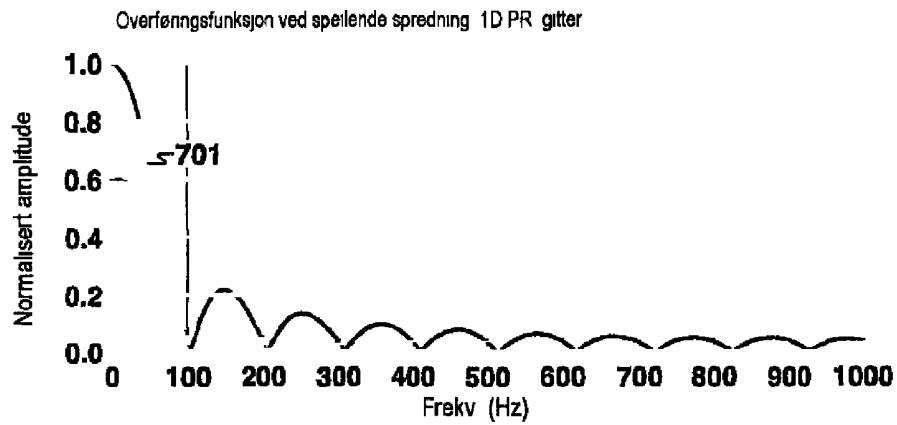


FIG. 7

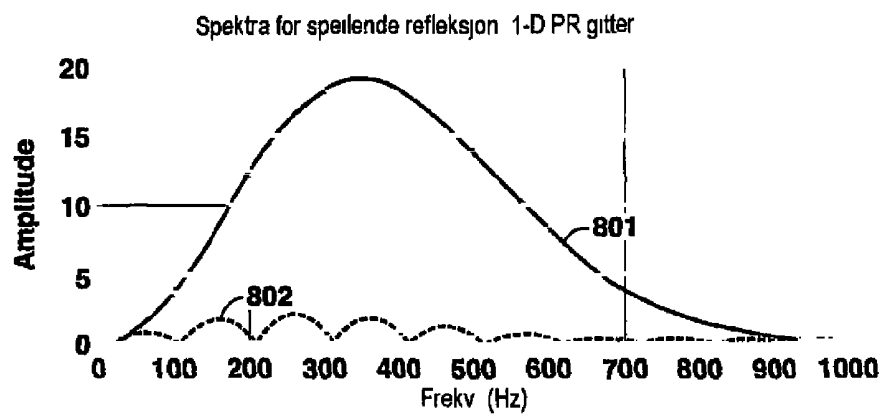


FIG. 8

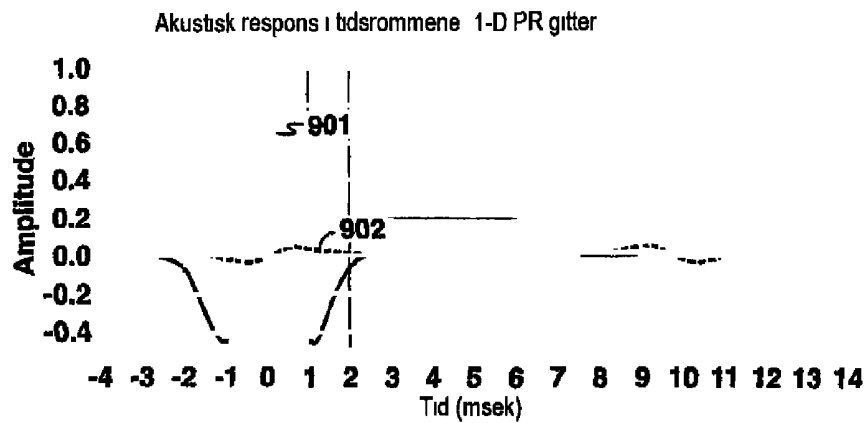


FIG. 9

6/9

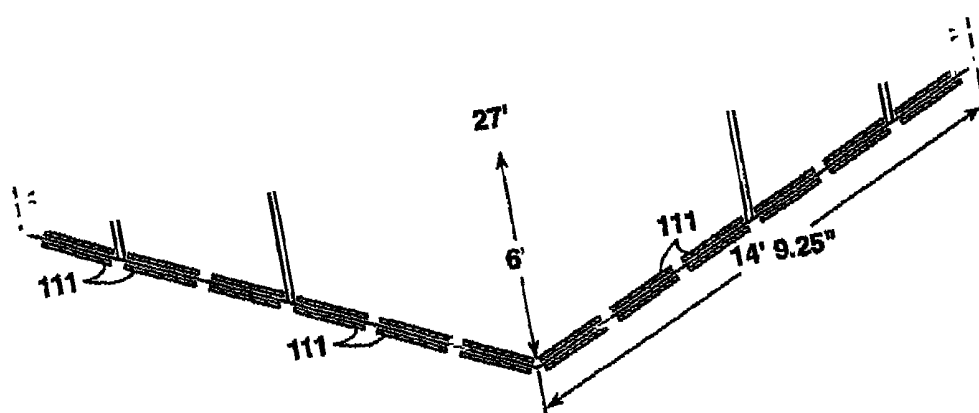


FIG. 10

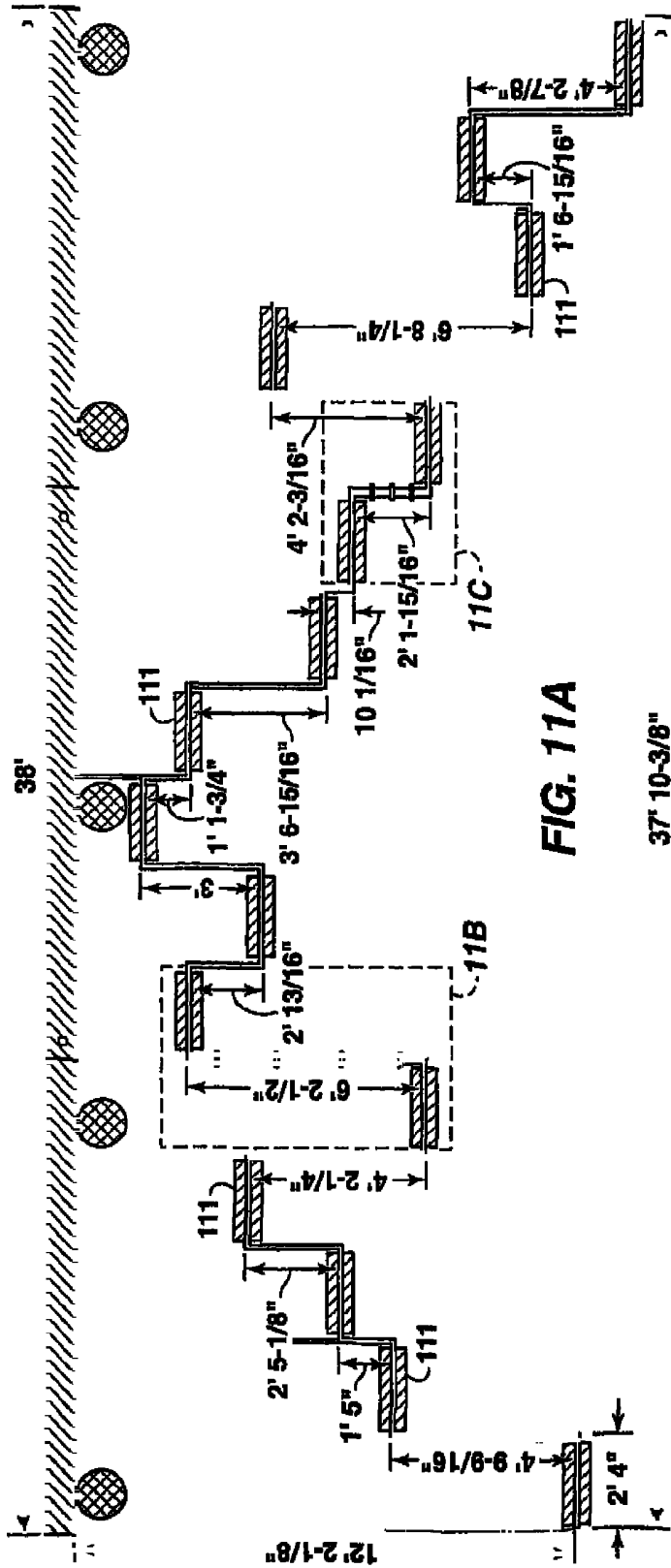


FIG. 11A

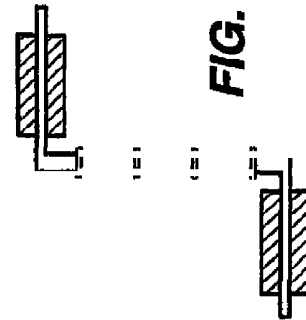


FIG. 11B

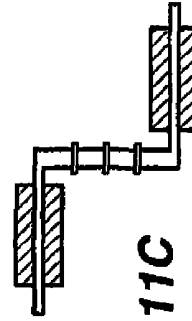


FIG. 11C

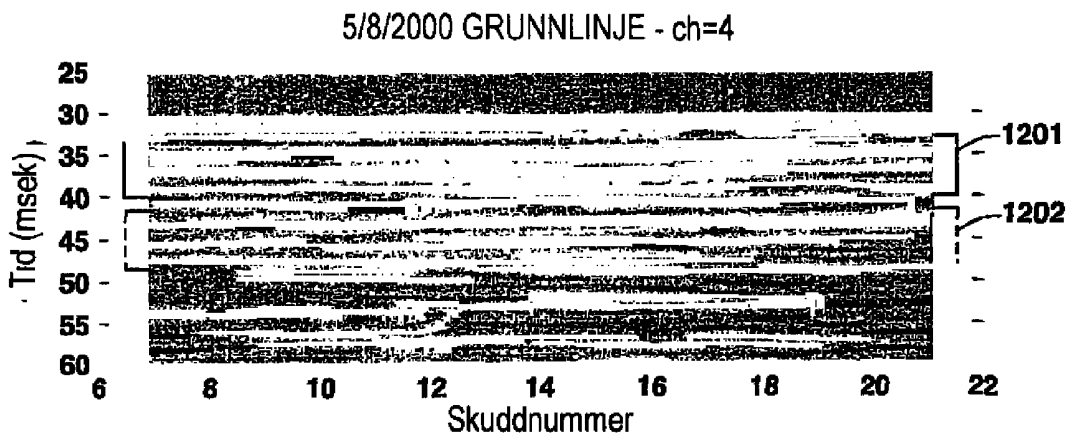


FIG. 12A

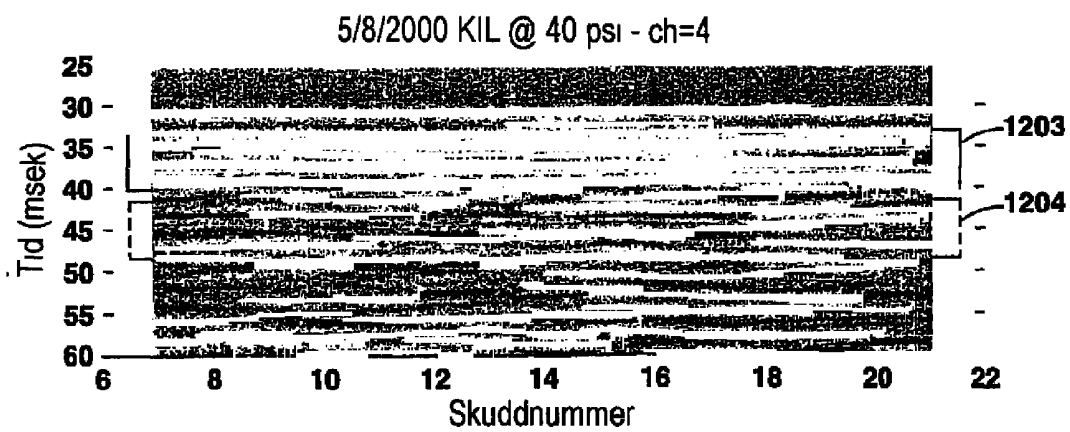


FIG. 12B

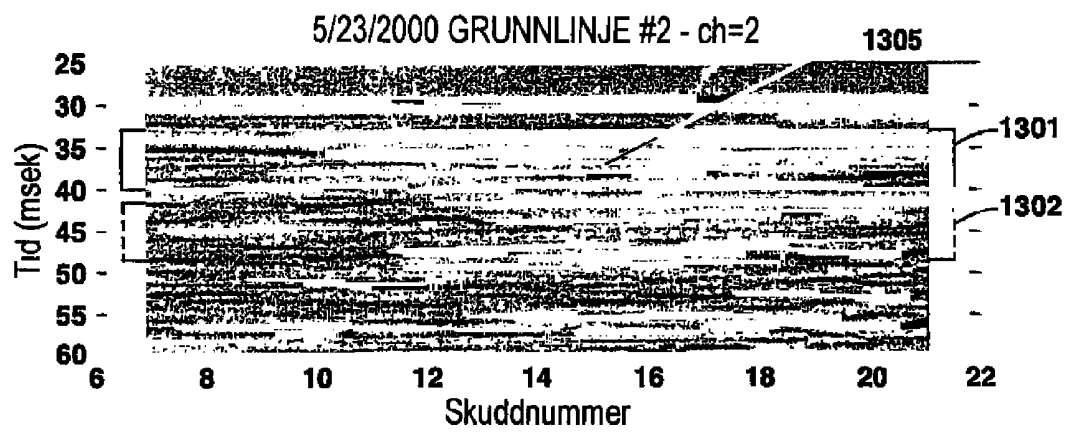


FIG. 13A

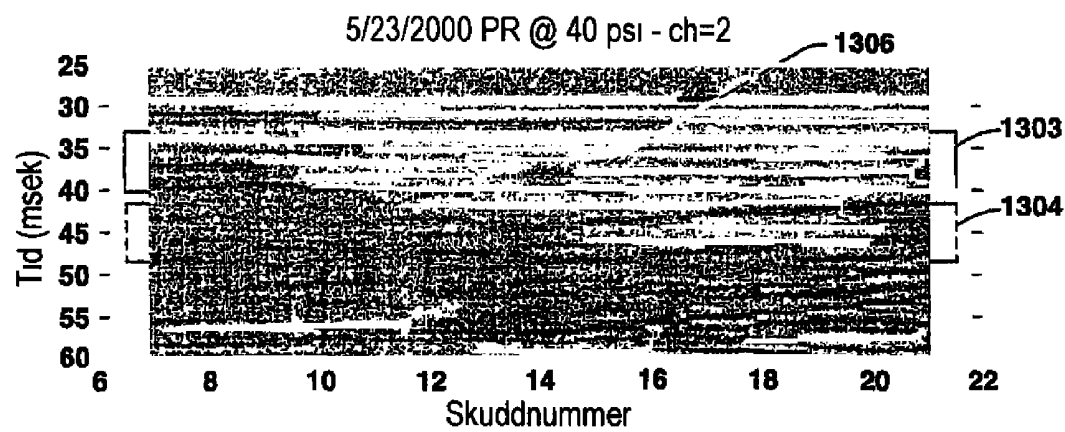


FIG. 13B