



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **337220**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

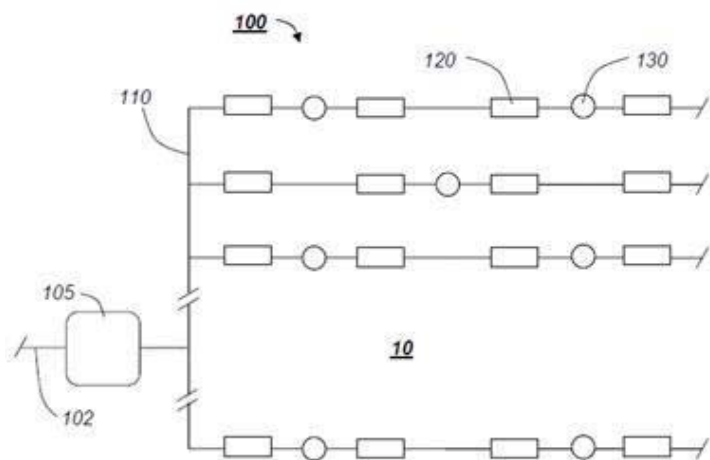
G01V 1/26 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20140325	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2014.03.12	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2014.03.12	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2015.09.14		
(45)	Meddelt	2016.02.15		
(73)	Innehaver	Octio AS, Bøhmergaten 44, 5057 BERGEN, Norge		
(72)	Oppfinner	Magne Oldervoll, Gudridhaugen 9, 5210 OS, Norge Leon Løvheim, Meiseveien 16 B, 5097 BERGEN, Norge Helge Brandsæter, Moneheia 88, 4656 HAMRESANDEN, Norge		
(74)	Fullmektig	Hynell AS, Parkveien 53 B, 0256 OSLO, Norge		

(54)	Benevnelse	Akustisk kildesystem for permanent overvåking av et reservoar i undergrunnen
(56)	Anførte publikasjoner	US 3873961 A WO 2005052303 A US 2005047275 A1
(57)	Sammendrag	

En akustisk kilde for permanent reservoarovervåking er tilpasset for langtidsutplassering på en jordoverflate eller sjøbunn (10) og forsynt med innkommende elektrisk energi fra en felles energikilde også brukt til å mate et sensorarray (100) som overvåker et reservoar. Den akustiske kilden omfatter minst én akustisk celle (130) som kan adresseres gjennom et felles kommunikasjonssystem som brukes til å adressere individuelle sensorer (120) i arrayet (100) som brukes til å overvåke reservoaret.



BAKGRUNN

Oppfinnelsens område

5

[0001] Den foreliggende oppfinnelsen angår generelt feltet seismiske undersøkelser, og spesielt et akustisk kildesystem for permanent reservoarovervåking.

Kjent og beslektet teknikk

10 **[0002]** I produksjonsfasen av et olje eller gassfelt er det ønskelig å overvåke formasjonen på produksjonsfeltet, dvs formasjonen som inneholder og omgir reservoaret som inneholder hydrokarbonene. For dette formålet kan et permanent array av seismiske mottakere utplasseres på en fast overflate ved reservoaret. Den foreliggende oppfinnelsen er nyttig i anvendelser på land og offshore. Begrepet "fast overflate", slik det brukes her, kan altså
15 betraktes som grensesnittet mellom jordskorpen og luft eller et vannvolum.

[0003] For enkelhets skyld beskrives oppfinnelsen ved hjelp av et eksempel som omfatter et offshore-reservoar og et sjøgående kildefartøy. Det forstås uten videre at "kildefartøy" kan erstattes med "helikopter" eller "lastebil" i landbaserte anvendelser. Der det passer, skilles det mellom anvendelser på land og offshore.

20 **[0004]** I det marine eksempelet, omfatter de seismiske sensorene typisk hydrofoner for å registrere primær- eller trykkbølger (P-bølger) og 3C-geofoner eller akselerometre i stand til å registrere sekundær- eller skjærbølger (S-bølger) i tre dimensjoner. I dag kan en typisk kommersielt tilgjengelig sensor ha følsomhet på omkring 40 ng, dvs i størrelsesorden 10^{-8}m/s^2 . Det antas at et permanent registreringsarray er utplassert over formasjonen som skal
25 overvåkes, at nodene tilføres elektrisk effekt gjennom en kabel og at de avgir sine registrerte data til overflaten gjennom en kommunikasjonslinje. Effektforsyningen er dimensjonert til å mate sensorene, og kommunikasjonen benytter fortrinnsvis standard protokoller som kan ivareta et stort antall adresserbare noder ved å bruke rimelige standardkomponenter, for eksempel ethernet over kobberkabel. Effektforsyningen og kommunikasjonslinjene er
30 tilveiebrakt i en havbunnskabel (OBC – ocean bottom cable) som forbinder sensorene i arrayet utplassert på sjøbunnen. Seismiske mottakere og arrayer, effektforsyninger og egnede alternativer for kommunikasjon er allment kjent på området, og drøftes derfor ikke nærmere her.

[0005] Den foreliggende oppfinnelsen angår seismikk med en styrt akustisk kilde, dvs anvendelser hvor den akustiske kilden er en kunstig seismisk kilde i stand til å frembringe akustisk energi med nok effekt til å trenge inn til en forhåndsbestemt dybde i en undergrunnformasjon og frembringe detekterbare ekko i form av P-bølger og S-bølger.

5 **[0006]** I dagens offshoreapplikasjoner kan det benyttes et spesialisert kildefartøy.

Kildefartøyet tauer et array av luftkanoner som avfyres gjentatte ganger for å frembringe en rekke grafer (traces) som registreres av det permanente mottakerarrayet. Kostnadene ved å leie et kildefartøy utgjør imidlertid en betydelig del av overvåkingskostnadene, og begrenser derfor hvor ofte en overvåkingsundersøkelse kan utføres. Videre kan et kildefartøy være
10 utilgjengelig for leie ved et gitt tidspunkt, for eksempel ved begynnelsen av en injeksjonsprosedyre som er kjent å forårsake forskyvninger i formasjonen som skal overvåkes.

[0007] Et annet problem med et kildefartøy er forbundet med eksakt posisjonering. For å overvåke endringer i reservoaret over tid, kreves såkalte 4D-undersøkelser. Som vel kjent på området, bør skudd i en undersøkelse tatt en tid, f eks en uke eller mer, etter en tidligere
15 undersøkelse avfyres ved lokasjoner så nær som mulig skuddlokasjonene i den tidligere undersøkelsen. Å manøvrere et stort, tauet kildearray til den eksakte posisjonen og orienteringen som i en tidligere undersøkelse er tidkrevende og/eller unøyaktig.

[0008] Videre har et kildefartøy uønskede virkninger på driften og på miljøet. Driftsmessig forstyrrer kildefartøyet og dets tauede utstyr andre marine aktiviteter. For eksempel er det
20 vanligvis forbudt å taue og avfyre en akustisk kilde i en sikkerhetssone omkring installasjoner på et felt for å unngå skader på installasjonen. Undersøkelsen må også avbrytes når det er fiskefartøy i området. Miljømessig forstyrrer den kraftige akustiske energien som beveger seg fra overflaten til sjøbunnen ved hvert skudd marint liv. For eksempel må undersøkelsen stoppes når det er marine pattedyr i nærheten, og den akustisk energien som frigjøres ved en
25 gassfylt svømmeblære kan drepe en fisk. Mens avliving av en betydelig prosentandel fisk i et relativt lite område neppe påvirker den samlede populasjonen av migrerende fisk, kan den sette en stedbundet bestand tilbake i flere år. I tillegg til de rent driftsmessige og miljømessige effektene, påløper altså ytterligere kostnader grunnet avbrutte undersøkelser og potensiell skade på fiskerier.

30 **[0009]** For å forstå den foreliggende oppfinnelsen bedre, følger en kort beskrivelse av noen kjente seismiske kilder.

[0010] Det er vanlig å dele seismiske kilder i impuls- og vibrasjonskilder. I en impulskilde blir all akustisk energi frigjort på en gang. Eksempler omfatter eksplosiver, dunkere

(thumpers) og luftkanoner. I dag er eksplosiver lite brukt på grunn av sin negative innvirkning på miljøet og problemer tilknyttet lagring av eksplosiver på et fartøy til sjøs.

[0011] En dunker brukes vanligvis i landbasert seismikk, og virker ved å slippe en masse på en baseplate. En typisk impuls oppnås ved å slippe for eksempel 5 000 kg 2-3 m, og har

5 dermed en energi omkring $5\,000\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 \times (2\text{ til }3)\text{ m} = 100\text{ til }150\text{ kJ}$. Denne energien er større enn den som kreves for å oppnå brukbare resultater med dagens sensorer, og kan skade utstyr eller også formasjonen, hvis den gjentas over tid. Impulskilder av denne typen er altså ikke egnet i den foreliggende anvendelsen.

[0012] Et array av luftkanoner blir typisk tauet bak et spesialutstyrt kildefartøy, slik som

10 kildefartøyet nevnt ovenfor. Luftkanonene lades med trykkluft fra kildefartøyet for å gi gjen-
tatte skudd i samsvar med et forhåndsbestemt skuddmønster. Utgangssignalet fra et slikt array formes til en ønsket signatur. Mer spesifikt taues arrayet ved en forhåndsbestemt dybde D under havflaten og de enkelte luftkanonene avfyres i en sekvens slik at uønskede boblepulser interfererer destruktivt og arrayet som helhet frembringer den ønskede kildesignaturen. For
15 dette beregnes bobleperioden ved å bruke Rayleigh-Willis-ligningen, som sier at
bobleperioden $T = k Q^{1/3} / p^{5/6}$, hvor k er en konstant som avhenger av enhetene som brukes, Q er tilført energi og p er omgivelsestrykket i fluidet som boblen utvider seg i. Trykket uttrykkes ofte som vanndybde, f.eks. $(D+10)$ hvor D er vanndybden i meter og 10 meter vanndybde tilsvarer 1 atmosfære.

20 **[0013]** Driftsmessige og miljømessige virkninger av luftkanonarrayer er kort beskrevet ovenfor, og bør tas hensyn til. Videre er det upraktisk å frembringe den påkrevde effekten Q som trykksatt gass ved havbunnen, for eksempel da det ville kreve lange og kostbare rør. Det bemerkes imidlertid at individuelt adresserte kilder er nyttige for å frembringe en forhåndsbestemt kildesignatur.

25 **[0014]** Vibrerende kilder er også kjent som "vibroseiskilder" etter den opprinnelige oppfinnelsen patentert av Continental Oil Company (Conoco) i 1950-årene. En vibrerende kilde fordeler den akustiske energien over tid, nærmere bestemt i løpet av "sveip" ("sweeps") over et forhåndsbestemt frekvensområde. Lineære, ikke-lineære og randomiserte sveip, spesielt randomiserte sveip utviklet for et array av mottakere, er velkjent på området. De
30 detekterte signalene korreleres for å frembringe ekvivalenten av en impuls. Korrelasjonen forbedrer også signal/støy-forholdet (SNR).

[0015] Tradisjonelle vibrerende kilder drives typisk av hydraulikk, selv om elektromekaniske ekvivalenter også er godt kjent. Noen vibrerende kilder påfører kraften vinkelrett på bakken for å frembringe P-bølger, og noen omfatter en baseplate med elementer innført i

bakken og vibrerer parallelt med bakken for å frembringe S-bølger. US 4,143,736 gir et eksempel på en hydraulisk S-bølgekilde, og US 3,313,370 (fra 1964) gir et eksempel på en elektromekanisk S-bølgekilde.

[0016] US patentsøknad nr 2010232260 gir en utfyllende gjennomgang av kjent teknikk, og beskriver en elektromekanisk seismisk kilde i stand til å frembringe P-bølger med en rapportert bakkekraft på omkring 300kN i et frekvensområde fra 4 Hz til minst 125 Hz. Denne elektromekaniske kilden kan for eksempel erstatte en hydraulisk drevet seismisk kilde på en kommersielt tilgjengelig, spesialbygget lastebil som er vanlig brukt i landbasert seismikk. Det antas imidlertid at det er praktisk mulig å tilpasse en slik kilde for undervannsanvendelser.

[0017] Andre seismiske kilder kjent på området omfatter spesielt plasmalydkilder, også vanlig kjent som "sparkere", hvor elektrisk effekt samles opp i et batteri av kondensatorer, og den oppsamlede elektriske ladningen plutselig frigjøres mellom to elektroder plassert nær hverandre. Lysbuen (koronaen) danner en plasma- og dampboble som utvides raskt og frembringer en første sjokkbølge. Når bobletrykket faller under trykket i omgivelsene, kollapser boblen og frembringer en andre sjokkbølge. Igjen følger bobleperioden T av Rayleigh-Willis-ligningen, og avhenger altså av den tilførte energien Q og trykket p i væsken som inneholder sparkerelektroden.

[0018] US patentsøknad med publiseringsnummer 2009/0154290 (Radtke m fl) beskriver en vibrerende seismisk kilde som avfyrrer minst to impulskilder atskilt av et tidsintervall som er valgt for å frembringe et akustisk maksimalsignal ved en valgt frekvens, og spesielt ved lave frekvenser. En sparker kan benyttes som impulskilde, og denne utførelsesformen kan forbedres ytterligere ved å frembringe en reflektor slik at det reflekterte signalet fra ekspansjonsbølgen ankommer et mål samtidig som bølgen fra boblekontraksjonen.

[0019] Som i eksempelet med luftkanoner ovenfor, utnytter innretningen interferens for å frembringe en ønsket signatur, og bruker Rayleigh-Willis-ligningen til å beregne bobleperioden. Dermed kan den tilførte energien Q og trykket p i fluidet som inneholder sparker-elektroden brukes til å styre utgangsfrekvensen. Dermed kan kilden beskrevet i '290-søknaden styres for å gi en hvilken som helst frekvens i området brukt i vibroseis-sveip, og et 2 Hz signal rapporteres å gi detekterbare signaler omkring 1,5 km (4 600 fot) fra kilden med en tilført energi i størrelsesorden 100 J.

[0020] Internasjonal patentsøknad WO 20110497202A2 (Radtke m fl) beskriver en beholder for en sparker ifølge '290-søknaden ovenfor, og drøfter flere parametre for å frembringe en rettet enhet. Generelt nyttige resultater er blant annet at rustfrie stålvegger i stand til å motstå trykk på sjøbunnen (f eks omkring 6 mm) er praktisk talt transparente for akustiske bølger i

frekvensområdet til et randomisert vibroseis-sveip, og at uønsket lekkasje av akustisk energi kan forhindres av en gasslomme i beholderen. I tillegg kan beholderen inneholde akustiske reflektorer for å forbedre utgangssignalet som kort beskrevet ovenfor. Dermed kan trykket inne i beholderen og/eller energien som tilføres sparkerne (i størrelsesorden noen få hundre
5 joule) styres for å frembringe et rettet akustisk utgangssignal med en styrbar frekvens egnet for et randomisert vibroseis-sveip.

[0021] Systemer som omfatter både akustiske kilder og sensorer er kjent fra publikasjonene US3873961, WO2005052303 og US2005004725.

[0022] Pneumatisk eller hydraulisk drevne kilder kan ofte gi uønsket støy og andre
10 problemer i kildesignalet, hovedsakelig på grunn av sine relativt lange responstider. Videre vil utstyr så som pumper og rør for å pumpe gass eller væske til havbunnen selv være kostbart, tungt og plasskrevende. Ettersom disse problemene fort blir uhåndterlige med økende utplasseringsdybde, antas at den akustiske kilden bør ha elektrisk effektforsyning.

[0023] Videre bør en seismisk kilde for langtidsutplassering på et produksjonsfelt fortrinns-
15 vis være av en vibrerende type dels for å begrense effektbehovet (dvs energien per skudd) og dels for å unngå skade på installasjoner i nærheten og for å redusere fotavtrykket på miljøet. En slik seismisk kilde bør fortrinnsvis også være retningsbestemt av tilsvarende grunner.

[0024] Et første formål med den foreliggende oppfinnelsen er dermed å frembringe en forbedret vibrerende akustisk kilde for utplassering på en sjøbunn. Et andre formål er å
20 frembringe en slik akustisk kilde med lavere tilvirkings- og driftskostnader enn tidligere kjent på området.

OPPSUMMERING AV OPPFINNELSEN

[0025] Formålene ovenfor oppnås med en akustisk kilde ifølge krav 1 og en fremgangsmåte
25 ifølge krav 8. Ytterligere trekk og fordeler fremgår av de uselvstendige patentkravene.

[0026] Nærmere bestemt angår oppfinnelsen et akustisk kildesystem for permanent over-
våking av et reservoar, omfattende en akustisk kilde tilpasset langtidsutplassering på en fast overflate ved reservoaret; en felles effektkilde til å tilføre elektrisk effekt til den akustiske kilden og et sensorarray som overvåker reservoaret, og et felles kommunikasjonssystem for
30 den akustiske kilden og sensorarrayet, hvor den akustiske kilden er individuelt adresserbar gjennom det felles kommunikasjonssystemet.

[0027] Den akustiske kilden er tilpasset langtidsutplassering på en fast overflate ved reservoaret som overvåkes, dvs tørt land eller en sjøbunn over reservoaret. Da kildene forblir på plass, er det ikke behov for å ta hensyn til potensielt forskjellige kildeposisjoner i

forskjellige undersøkelser. Oppfinnelsen sikrer altså at forskjeller som observeres fra undersøkelse til undersøkelse skyldes geologi, ikke endringer i datainnhenting. Videre er det ikke behov for et kildefartøy (eller et helikopter eller en vibroseisbil i landbaserte anvendelser), slik at undersøkelser kan utføres hyppigere. Hyppige undersøkelser betyr

5 forbedret overvåking, dvs bedre oversikt over endringer i undergrunnen. Videre lettes miljø-problemene, slik som hensyn til sjøpattedyr og fisk i det foreliggende eksempelet. Som godt kjent på fagfeltet, kan permanente akustiske kilder utplasseres i et mønster som bruker romlig filtrering til å redusere støy og dermed forbedre signal/støy-forholdet (SNR). Reduserte leie-kostnader, forbedret overvåking, redusert innvirkning på miljøet og forbedret romlig filtrering
10 er hver for seg forbedringer, og kan også redusere driftskostnadene ytterligere, f eks fordi en undersøkelse kan utføres uten hensyn til sjøpattedyr, fisk og fiskeri. Disse og andre fordeler beskrives mer fullstendig i det følgende.

[0028] "Langtids-" skal betraktes som den lengst praktisk mulige tiden den akustiske kilden kan forbli utplassert før den må vedlikeholdes eller erstattes. Det vil si at den akustiske kilden
15 fra et driftsperspektiv kan betraktes som en permanent installasjon. Videre omfatter uttrykket "tilpasset langtidsutplassering" akustiske kilder som ennå ikke er utplassert og kilder som er hentet inn etter utplassering. Når den akustiske kilden er utplassert på den faste overflaten, kan en undersøkelse startes etter behov på et hvilket som helst tidspunkt gitt av hendelser i produksjonen, for eksempel start eller stopp i en injeksjonsprosess, før driftsstart av en ny
20 produksjonsbrønn, uventede trykkehendelser osv. Reposisjonering av akustiske kilder i en 4D-undersøkelse er heller ikke noe problem med permanent utplasserte akustiske kilder. Dette forbedrer overvåkingen av reservoaret som beskrevet ovenfor.

[0029] Videre er begrepene "reservoar" og "formasjon", slik de brukes i det følgende, ikke begrenset til hele formasjonen, men kan begrenses til mindre områder av interesse. For
25 eksempel er det kjent på fagfeltet at injeksjon av et fluid i et reservoar for å stimulere produksjonen ofte medfører forskyvninger i formasjonen. Følgelig kan det være ønskelig å overvåke en enkelt injeksjonsbrønn tettere enn andre deler av produksjonsfeltet i en kortere eller lenger periode.

[0030] Et nøkkeltrekk ved oppfinnelsen er at tiden spiller liten rolle, slik at den akustiske
30 kilden kan lades ved å bruke lav effekt, og slik at den akustiske energien kan fordeles over tid i stedet for i en mer energirik puls.

[0031] Generelt foretrekkes elektrisk energi tilført med lav effekt fordi den trenger kabler med mindre tverrsnitt og mindre elektrisk isolasjon enn en overføringslinje konstruert for overføring av høyere effekt. Spesielt foretrekkes elektrisitet med lav effekt tilført gjennom

infrastrukturen som er frembrakt for sensorarrayet, f eks for å bruke så mye som mulig av eksisterende effektkilder, kabling osv. I noen tilfeller er det meste eller alt av nødvendige effektforsyninger og effektoverføringer allerede installert med sensorarrayet, slik at det kreves liten eller ingen oppgradering av infrastrukturen.

- 5 **[0032]** Tilsvarende kan det eksisterende kommunikasjonssystemet utvides med adressene til de akustiske kildene, og brukes til å styre en hvilken som helst akustisk kilde, inkludert å utløse et skudd. Skudd med relativt liten akustisk energi kan kombineres eller korreleres med kjente teknikker for å frembringe verdifulle utdata. I tillegg til sparte investeringskostnader til infrastruktur, letter et felles kommunikasjonssystem for kildene og mottakerne driften av hele
- 10 systemet, og kan dermed forbedre systemets pålitelighet og sikkerhet.

[0033] De akustiske kildene kan derved lades ved å bruke et felles effektsystem som også forsyner sensorarrayet enten samtidig eller til forskjellige tider. Tilsvarende kan et felles kommunikasjonssystem brukes til å avfyre en skuddsekvens og til å overføre seismiske data på et senere tidspunkt.

- 15 **[0034]** Det er rikelig tid til lading, så de akustiske kildene kan mates med lav effekt og samle opp energien inntil den oppsamlede energien er tilstrekkelig til et skudd. Skudd fra flere akustiske kilder og detekterte seismiske signaler kan styres ved å bruke én enkelt styreenhet og det felles kommunikasjonssystemet slik at driften forenkles ytterligere.

- [0035]** I en foretrukket utførelsesform frembringes et array av individuelt adresserbare
- 20 akustiske kilder. Dermed kan enhver ønskelig akustisk signatur implementeres.

[0036] Den akustiske kilden kan være en impulskilde. Signalet fra flere individuelle akustiske kilder kan adderes med positiv interferens og frembringe et kombinert, energirik utgangssignal.

- [0037]** Alternativt kan den akustiske kilden være en vibrasjonskilde som fordeler den
- 25 akustiske energien over tid. Signalene som oppnås kan korreleres som kort beskrevet i innledningen.

- [0038]** I begge tilfeller reduserer et array av akustiske kilder som fordeler den utsendte akustiske energien over tid risikoen for skade på utstyr i nærheten og/eller behovet for skjerming, utkobling ved skudd eller andre beskyttelsestiltak. Kanskje enda viktigere er det
- 30 mindre miljømessig innvirkning, f eks på marint liv ettersom de energirike skuddene som går gjennom vannet fra en luftkanon erstattes med akustisk energi fra et kildearray på sjøbunnen, og videre ettersom den akustiske energien er fordelt over et lenger tidsintervall.

[0039] Den tilførte elektriske effekten oppsamles fortrinnsvis som energi i en kondensator eller et batteri. Kondensatoren kan deretter utlades direkte i en sparker eller omformes videre til mekanisk energi lagret i en fjær.

[0040] I et andre aspekt angår oppfinnelsen en fremgangsmåte for bruk av den akustiske

5 kilden beskrevet ovenfor. Fremgangsmåten omfatter trinnene:

å lagre energi fra den felles effektkilden i den akustiske kilden inntil den lagrede energien har nådd et forhåndsbestemt nivå,

å frembringe et avfyringssignal til den akustiske kilden ved å bruke det felles kommunikasjonssystemet, og

10 å bruke avfyringssignalet til å utløse et skudd.

[0041] De driftsmessige og miljømessige fordelene med fremgangsmåten er de samme som dem i det første aspektet. Oppsummert er fordelene redusert miljømessig påvirkning og reduserte kostnader: For det første er det rent driftsmessige fordeler, da kildefartøy med tauet utstyr ikke påvirker andre marine aktiviteter. For det andre (og viktigere), påvirkes marint liv 15 mindre hvis akustisk energi fordeles over tid. For det tredje kan undersøkelsen starte ved behov når som helst avhengig av hendelser i produksjonen, for eksempel start eller stopp i en injeksjonsprosess, før driftsstart for en ny produksjonsbrønn, uventede trykkehendelser osv. Ved bruk av en tauet kilde er kildens tilgjengelighet alltid et tema. Endelig sikrer permanent utplasserte akustiske kilder skuddposisjonene og dermed repeterbare skuddsignaturer.

20 Følgelig skyldes forskjeller observert fra undersøkelse til undersøkelse geologi, ikke endringer i datainnhenting.

[0042] Ved å bruke ett kommunikasjonssystem, f.eks. ethernet, til både sensorarrayet og den akustiske kilden er det mulig å gjenbruke infrastruktur, dvs. å koble den akustiske kilden til eksisterende effektforsyning og kommunikasjonssystem brukt til den overvåkende sensor-

25 arrayet.

[0043] Et hvilket som helst arrangement av flere kilder kjent på fagfeltet kan brukes med den foreliggende oppfinnelsen.

[0044] Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnet å avfyre en rekke akustiske kilder en for en på forskjellige tidspunkt og korrelere de resulterende signalene. Dette trinnet kompenserer 30 for en mulig lavere energi enn et skudd fra et array med luftkanoner. Det vil si at man utnytter faktumet at tiden er langt mindre viktig enn med en tauet kilde.

[0045] Fortrinnsvis muliggjør fremgangsmåten avfyring av skudd selektivt for å overvåke én enkelt injeksjonsbrønn. Uavhengig av om et kildearray er utplassert i sin helhet omkring en injeksjonsbrønn eller i et større område, kan de akustiske kildene tilknyttet injeksjonsbrønnen

avfyres selektivt for å avsløre eventuelle endringer forårsaket av injeksjon. Det vil si at det kan være unødvendig å lade og avfyre alle kilder i et utvidet kildearray for å detektere endringer forårsaket av fluid injisert gjennom injeksjonsbrønnen. Eventuelle endringer inntreffer også trolig når en injeksjon starter og i noen tid etterpå, så det kan være tilstrekkelig

5 å overvåke området omkring injeksjonsbrønnen i en begrenset tidsperiode, i motsetning til en permanent øket overvåking omkring injeksjonsbrønnen.

[0046] Andre trekk og fordeler ved oppfinnelsen vil fremgå av de vedlagte uselvstendige kravene og den følgende detaljerte beskrivelsen.

10 KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

[0047] Oppfinnelsen vil bli forklart ved hjelp av et eksempel på en utførelsesform med henvisning til de vedføyde tegningene, hvor:

Fig. 1 illustrerer et eksempel på en utførelsesform av oppfinnelsen;

Fig. 2 illustrerer en akustisk kilde ifølge den foreliggende oppfinnelsen og

15 Fig. 3 illustrerer en alternativ akustisk kilde ifølge den foreliggende oppfinnelsen.

DETALJERT BESKRIVEØSE AV EN FORETRUKKET UTFØRELSESFORM

[0048] Tegningene er skjematiske og ment å illustrere prinsippene for oppfinnelsen.

Elementene i dem er derfor ikke nødvendigvis i skala, og tallrike detaljer kjent for fagfolk på

20 området er utelatt av hensyn til klarhet.

[0049] Fig. 1 forestiller et array 100 som omfatter sensorenheter 120 og akustiske kilder 130 utplassert på en fast overflate 10, som er en sjøbunn i det foreliggende eksempelet.

Mottakerarrayet, dvs sensorarrayet 100, overvåker en undergrunnformasjon, f eks et reservoar for hydrokarboner. Sensorenhetene 120 vises som rektangler og de akustiske kildene 130

25 vises som sirkler kun for illustrasjonsformål. Videre danner de akustiske kildene 130 generelt et array som er forskjellig fra arrayet av sensorenheter, og har fortrinnsvis et akustisk signal med forholdsvis lav effekt fordelt over tid. Altså vises de akustiske kildene 130 tilfeldig plassert mellom sensorene 120 i arrayet av sensorenheter. En hvilken som helst akustisk kilde 130 kan plasseres utenfor sensorarrayet 100.

30 **[0050]** En kabel 102 tilfører elektrisk effekt gjennom et nav 105 på sjøbunnen og videre gjennom en OCB 110 til elementene 120, 130 i arrayet 100. Kabelen 102 og OBC 110 omfatter effektforsyningslinjer, kommunikasjonslinjer og andre elementer kjent på fagfeltet.

[0051] Et hovedkonsept i den foreliggende oppfinnelsen er å tilføre lav effekt gjennom den eksisterende infrastrukturen, blant annet gjennom kabelen 102, i stedet for gjennom spesial-

lagde kabler med større diameter. Lavere effekt betyr lenger tid til å tilføre energien som trengs for et skudd, slik at skudd kan avfyres for eksempel hvert 50. minutt i stedet for hvert 10. sekund. Likevel er tiden det tar å utføre en undersøkelse kort sammenlignet med tiden som kreves for å få et seismisk fartøy til feltet. Kostnadene som er involvert er også kraftig

5 redusert sammenlignet med utgiftene til å leie et kildefartøy, da oppfinnelsen benytter eksisterende infrastruktur med et relativt lite tillegg som nærmere beskrevet nedenfor. Ugunstige værforhold kan stenge ned et kildefartøy og det må tas særlige hensyn når det arbeides nær faste installasjoner.

[0052] I noen utførelsesformer er de akustiske kildene 130 koblet til en separat kabel for

10 effektforsyning og kommunikasjon på sjøbunnen. Derved kan de akustiske kildene utplaseres ved posisjoner utenfor nettet av sensorer 120 og/eller ved forskjellige tidspunkt, f.eks. etter installasjon av sensornettet 120. Effektforsyningen som brukes til sensorene kan fortsatt benyttes for de akustiske kildene, og det kan benyttes ett felles kommunikasjonssystem for de akustiske kildene og sensorene. For dette bør et foretrukket kommunikasjonssystem kunne

15 inneholde et stort antall enheter, som hver forsynes med en unik adresse slik at den kan styres uavhengig av de andre akustiske kildene eller sensorene. Ethernet er et eksempel på en passende kommunikasjonsteknologi, men enhver egnet kommunikasjonsteknologi kan brukes med den foreliggende oppfinnelsen. I en typisk utførelsesform er altså navet 105 utstyrt med flere konnektorer for effekt og kommunikasjon, der hver konnektor gjør det mulig å legge til

20 et nytt segment med sensorer. Den akustiske kilden ifølge den foreliggende oppfinnelsen vil fortrinnsvis kunne plugges inn i en slik konnektor og dermed gjenbruke det meste av infrastrukturen. Ingen flere antakelser angående den faktiske formen på elementene eller deres innbyrdes plassering skal imidlertid utledes fra figur 1 eller den kortfattede drøftingen ovenfor.

[0053] Fig. 2 illustrerer en akustisk kilde 130 i større detalj. Kilden omfatter en ytre, trykktett beholder 131 som kan ha en hvilken som helst passende ytre form. Det viste rektangelet er valgt for enkelhets skyld, og kan representere en sylinder eller en hvilken som helst annen form. I en virkelig utførelsesform er baseplaten 135 utført for å gi ordentlig akustisk kontakt med sjøbunnen 10.

[0054] Innretningen på figur 2 er en sparker. Potensiell energi i form av en elektrisk ladning

30 er lagret i kondensatorer inne i enheten 141. Når en bryter sluttes, utlades den lagrede potensielle energien gjennom elektrodene 142 for å danne en damp- og plasmaboble som drøftet i innledningen. Reflektoren 143 reflekterer den ekspanderende sjokkbølgen slik at den ankommer et mål samtidig som den kontraktive sjokkbølgen. Kammeret omsluttet av reflektoren 143 og bunnplaten 135 er fylt med væske, og trykket i denne væsken kan styres for å for å

frembringe en styrt frekvens, f eks i området 2-100 Hz, som forklart i avsnittene om kjent teknikk. Sparkerelektroden må være omgitt av en væske for å danne den nødvendige damp- og plasmaboblen. En beholder som inneholder væsken kan imidlertid utplasseres på tørt land eller under vann. Dermed kan en sparkerkilde brukes i anvendelser både på land og offshore.

5 **[0055]** Som beskrevet i innledningen, er en bunnplate 135 laget av 6-8 mm rustfritt stål transparent for de utgående akustiske bølgene. Et valgfritt luftfylt kammer mellom reflektoren 143 og den trykktette beholderen 131 hindrer at sjokkbølgene utbres i andre retningen enn gjennom bunnplaten 135.

[0056] For sparkerutførelsen i figur 2, mottar den akustiske kilden 130 tilført elektrisk effekt
10 gjennom kabelen 110 på venstre side av figur 2. Den tilførte effekten, dvs mengden av energi per sekund, passer til sensoranvendelse, og er derfor relativt lav. Det betyr at tiden som kreves for å oppsamle den nødvendige energien i kondensatorene blir tilsvarende lang. Imidlertid øker ikke driftskostnadene med økende tid mellom skuddene slik de ville med et kildefartøy.

[0057] En styremodul 132 benyttes til å rette inngangseffekten gjennom en effektlinje 133
15 til kondensatorene inne i enheten 141. Så snart ladningen, dvs potensiell energi, har nådd et forhåndsbestemt nivå, kobler styremodulen den innkommende effektlinjen direkte til den utgående effektlinjen på høyre side i figur 2, slik at den neste akustiske kilden nedstrøms kan lades på tilsvarende måte. Alternativt kan innkommende effekt fra en sentral effektkilde fordeles jevnt mellom alle de akustiske kildene. En slik tilnærming vil imidlertid lett få
20 effekten til å falle under et nivå egnet til å lade kondensatorene, og påføre ekstra kostnader til spesialkomponenter som gjør det mulig å lade kondensatorene med svært lav effekt.

[0058] En kommunikasjonslinje 134 frakter styresignaler fra styremodulen 132 til enheten 141. Disse styresignalene er enkle instruksjoner om å veksle en bryter når kondensatorene er ladet, og en annen bryter for å avfyre sparkeren, og krever ikke ethernetkommunikasjon eller
25 tilsvarende. Hvis ethernetforbindelser benyttes, vil den adresserbare MAC være innsatt i styremodulen 132. Selvsagt bør kilder nedstrøms ha uavbrutt kommunikasjon uavhengig av signaleringen, så kommunikasjonslinjen 134 representerer også den kontinuerlige kommunikasjonslinjen, f eks en tvinnet parkabel for ethernet, som passerer gjennom den akustiske kilden 130.

30 **[0059]** Nærmere bestemt sendes signaler som instruerer hver enkelt akustisk kilde om å fyre av ved et bestemt tidspunkt over kommunikasjonslinjen til de individuelt adresserbare styremodulene 132. Hvis det er ønskelig, kan styremodulene omfatte synkroniserte klokker eller andre midler for å kompensere for forsinkelse i et signal som går gjennom en lang kabel 110 eller en kabel som inneholder en eller flere repeatere.

[0060] Fig. 3 illustrerer en alternativ akustisk kilde som lagrer potensiell energi i en fjær 153. De inn- og utgående forbindelsene 110, den trykktette beholderen 131, styremodulen 132, den interne effektlinjen 134 og kommunikasjonslinjen 134 tilsvarer dem i figur 2, og er beskrevet ovenfor. Bunnplaten 135 bør imidlertid tilpasses for å motta impulser fra et hammerstempel 154, og er mest trolig forskjellig fra bunnplaten i figur 2 i en virkelig utførelse.

[0061] Effektenheten 151 omformer en relativt lav elektrisk inngangseffekt til mekanisk effekt som kreves til å løfte stempelet 153 i en bærestruktur 152 mot kraften fra fjær 153. For eksempel kan innkommende effekt oppsamles i kondensatorer inntil den oppsamlede energien er tilstrekkelig til å løfte stempelet 154 et hakk i et tannstag- og hakearrangement (ikke vist).

Et slikt arrangement illustrerer også problemer som kan oppstå hvis inngangseffekten er jevnt fordelt over alle de akustiske kildene nevnt ovenfor. Hvis inngangseffekten er svært lav, må kondensatorene eller batteriene ha svært små lekkasjestrømmer for å unngå at en stor del av inngangseffekten tapes ved lekkasje.

[0062] Den nødvendige utgangseffekten for den akustiske bølgen er i størrelsesorden noen få hundre joule. Når en masse m slippes fra høyden h , frigjøres som kjent en energi mgh , hvor g er tyngdens akselerasjon, dvs $9,8 \text{ m/s}^2$. En vesentlig andel av denne energien kan tapes til utgangsenergi forskjellig fra den ønskede bølgeenergien, f eks som varmetap. En fallende masse krever følgelig en stor masse og/eller en stor høyde for å generere det nødvendige utgangssignalet. Dette er hovedårsaken til at energien lagres i en fjær 153 i stedet for som høyde i gravitasjonsfeltet.

[0063] En spole vundet omkring stempelet 154 kan løfte stempelet gradvis i et tannstag- og hakearrangement som beskrevet ovenfor. Når stempelet 154 frigjøres og tvinges tilbake gjennom spolen av fjæren 153, ville imidlertid en slik spole indusere virvelstrømmer i stempelet og virke som en brems.

[0064] En mulig løsning frembringes av et hydraulisk arrangement som vist i figur 3. Dette omfatter bare korte, lokale hydrauliske linjer, slik at de lange responstidene forbundet med linjer til overflaten unngås. I figur 3 forskyves et lineært stempel (ikke vist) inne i en forsyningslinje 155 ved induksjon, dvs elektrisk effekt fra effektenheten 151 sendt gjennom en spole 156. Det lineære stempelet flytter hydraulisk olje fra en tank 157 til løftesyndre 158 med et stempelareal mye større enn diameteren til forsyningslinjen 155. Hammerstempelet 154 griper av separate hydrauliske gripere 159 som frigjør hammerstempelet 154 når de mottar et signal om å gjøre det fra styremodulen 132. En tilbakeslagsventil (ikke vist) hindrer at oljen returnerer til tanken 157 i løpet av løfteprosessen, og en hydraulisk returkrets (ikke vist) returnerer oljen til tank 157 for en ny gjentakelse.

[0065] Mens oppfinnelsen er beskrevet ved hjelp av et eksempel, er omfanget av oppfinnelsen definert av de vedlagte patentkravene.

Patentkrav

1. Akustisk kildesystem for permanent overvåking av et reservoar,
5 hvor systemet omfatter et sensorarray (100) for overvåking av reservoaret, utplassert på en fast overflate ved reservoaret, der sensorarrayet (100) tilføres elektrisk energi fra en felles energikilde og kommuniserer gjennom et felles kommunikasjonssystem,
karakterisert ved
en akustisk kilde (130) som
10 er tilpasset langtidsutplassering på den faste overflaten ved reservoaret, er individuelt adresserbar gjennom det felles kommunikasjonssystemet, og er innrettet til å motta og lagre elektrisk energi fra den felles energikilden med lav effekt tilpasset infrastrukturen for sensorarrayet (100), og til å motta et avfiringssignal gjennom det felles kommunikasjonssystemet for å frigjøre
15 den lagrede energien som akustisk energi med en utgangseffekt større enn inngangseffekten tilført fra den felles energikilden.
2. Akustisk kildesystem ifølge krav 1, omfattende et array av individuelt adresserbare akustiske kilder (130).
20
3. Akustisk kildesystem ifølge krav 1 eller 2, hvor den akustiske kilden (130) er en impulskilde.
4. Akustisk kildesystem ifølge et av de foregående krav, hvor den akustiske kilden (130)
25 er en vibrasjonkilde.
5. Akustisk kildesystem ifølge et av de foregående krav, hvor den tilførte elektriske effekten oppsamles som energi i en kondensator (141, 151).
- 30 6. Akustisk kildesystem ifølge krav 5, hvor den akustiske kilden er en sparker.
7. Akustisk kildesystem ifølge krav 5, hvor den tilførte elektriske energien oppsamles som energi i en fjær (153).

8. Fremgangsmåte for bruk av det akustiske kildesystemet ifølge et av de foregående krav, **karakterisert ved** trinnene:

å lagre energi fra den felles energikilden i den akustiske kilden (130) inntil den lagrede energien har nådd et forhåndsbestemt nivå,

- 5 å frembringe et avfiringssignal til den akustiske kilden ved å bruke det felles kommunikasjonssystemet, og

å bruke avfiringssignalet til å frigjøre den lagrede energien som akustisk energi med en utgangseffekt større enn inngangseffekten tilført fra den felles energikilden.

- 10 9. Fremgangsmåte ifølge krav 8, hvor en gruppe akustiske kilder utløses for å emulere en P-bølge fra et array av luftkanoner slik P-bølgefronten ville nå sjøbunnen.

10. Fremgangsmåte ifølge krav 8, videre omfattende trinnet å utløse en rekke akustiske kilder en etter en på forskjellige tidspunkt og korrelere de resulterende signalene.

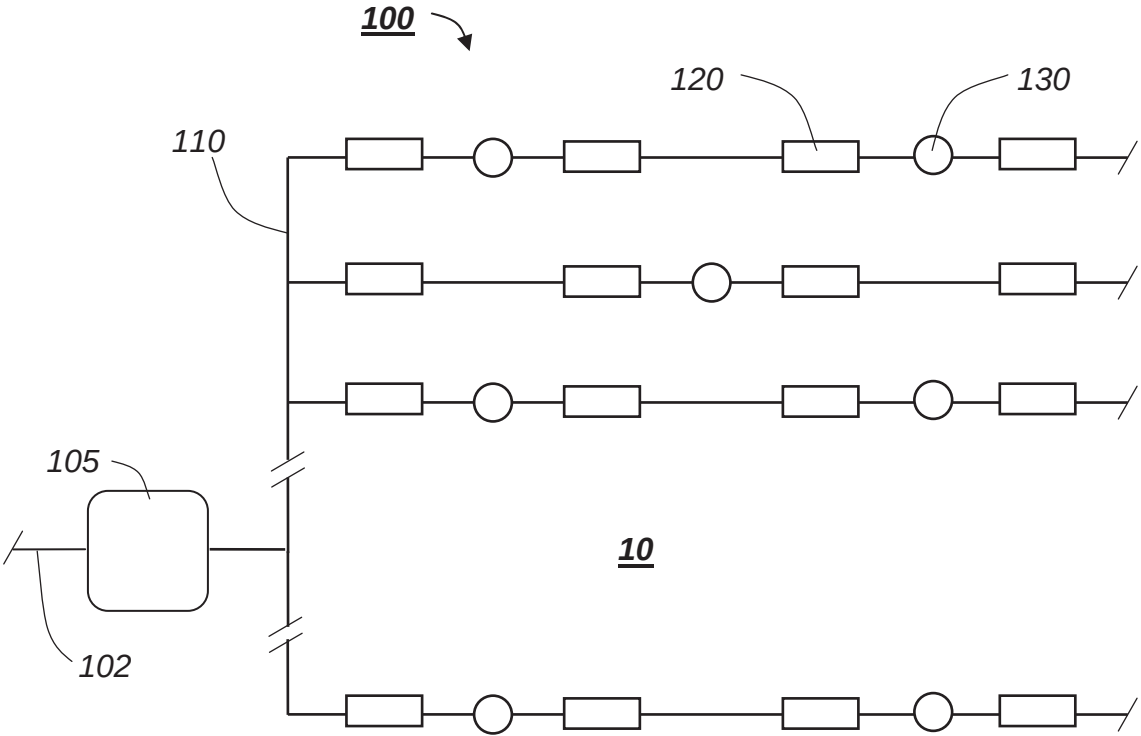


Fig. 1

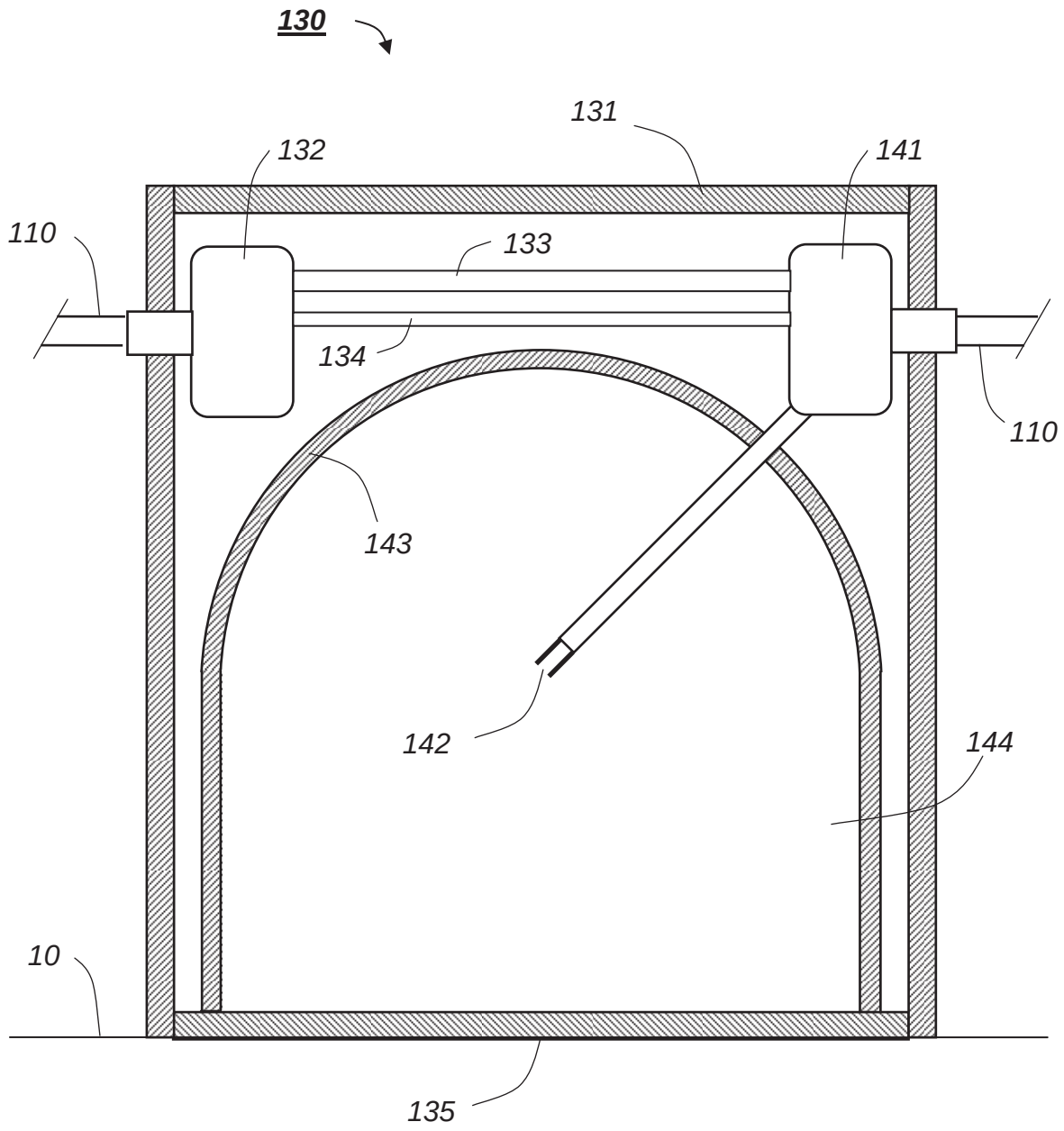


Fig. 2

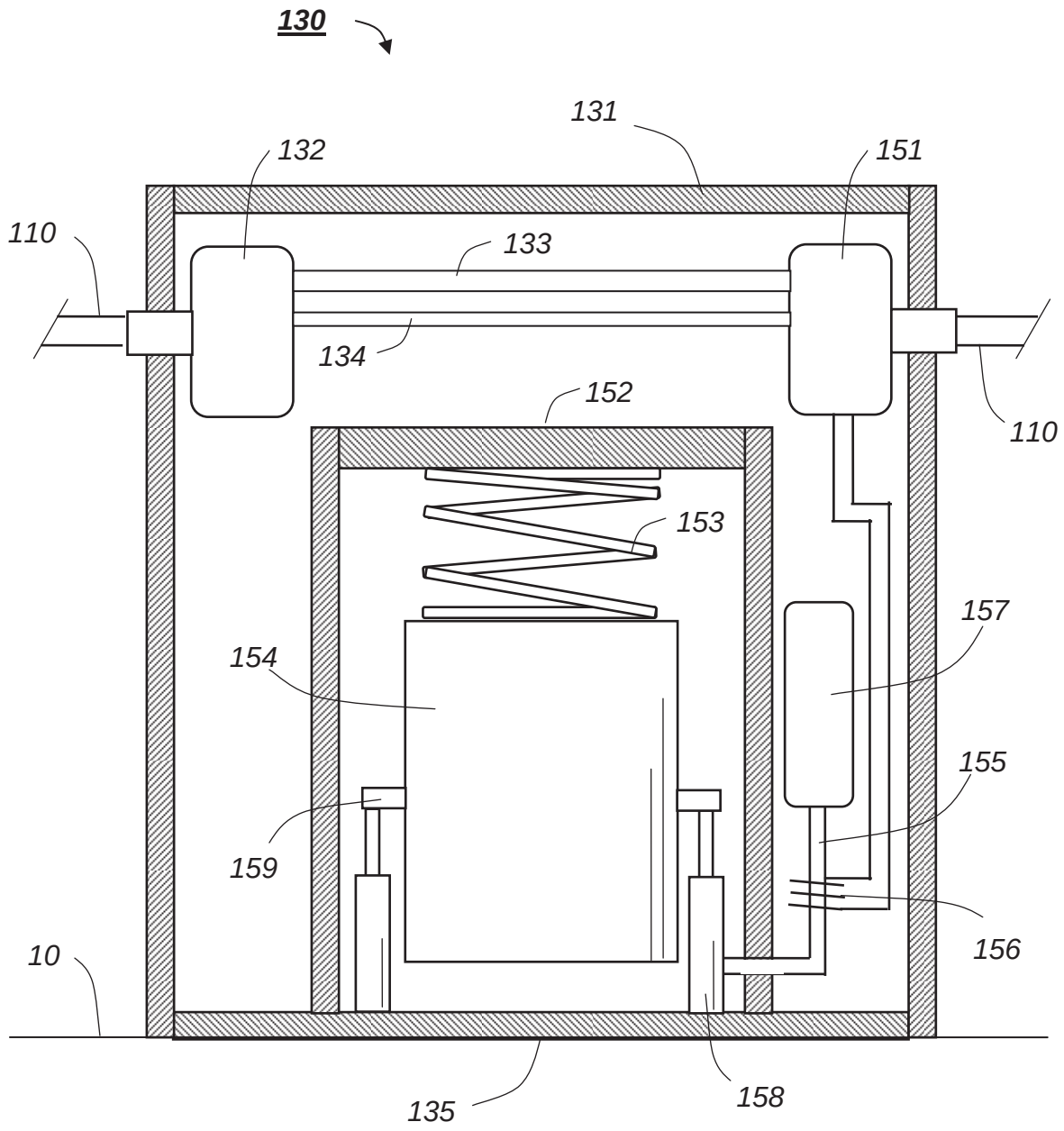


Fig. 3