



(12) SØKNAD

(19) NO

(21) 20141101

(13) A1

NORGE

(51) Int Cl.

E21B 47/10 (2012.01)

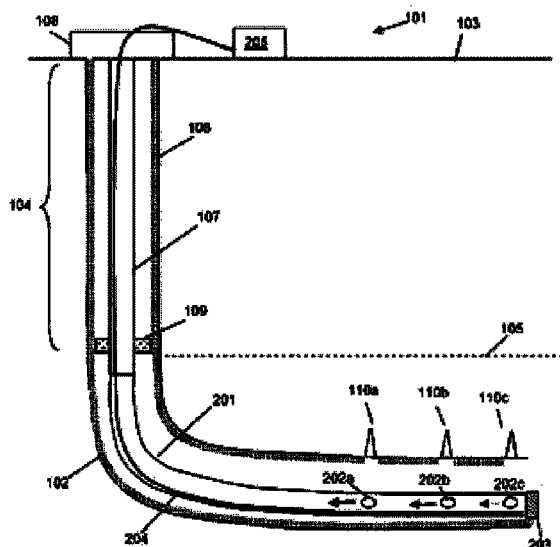
E21B 47/135 (2012.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20141101	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2013.02.25 PCT/GB2013/050455
(22)	Inng.dag	2014.09.12	(85)	Videreføringsdag	2014.09.12
(24)	Løpedag	2013.02.25	(30)	Prioritet	2012.03.05, GB, 1203854
(41)	Alm.tilgj	2014.10.01			
(73)	Innehaver	OptaSense Holdings Limited, Cody Technology Parklvely Road, GB-GU14OLX FARNBOROUGH, HAMPSHIRE, Storbritannia			
(72)	Oppfinner	Alastair Godfrey, c/o Cody Technology, Parklvely Road, Farnborough, GB-GU14OLX HAMPSHIRE, Storbritannia			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54) Benevnelse **Overvåking av strømningsbetingelser nedbrønns**
(57) Sammendrag

Foreliggende søknad beskriver fremgangsmåter og anordninger for strømningsovervåking ved en gitt posisjon nede i en brønn. Fremgangsmåten omfatter trinn med: å utføre fiberoptisk avføling på en optisk fiber (204) som er utplassert inne i brønns (101). Den optiske fiberen er festet til et første rør (201) som strekker seg inn i brønns (101) til i det minste en første posisjon (110a-c) hvor det er ønskelig å overvåke innstrømning. Det første røret omfatter minst én åpning (202a-c) som har kjente egenskaper ved den første posisjonen. Det første røret er i fluidkommunikasjon med strømningsrøret (107) som tilveiebringer strømning til/fra toppen (108) av brønns. Fluidet strømmer derfor under bruk inn i det første røret via åpningene (202a-c) som, siden de har kjente egenskaper, tilveiebringer en kalibrert respons som kan detekteres ved hjelp av en fiberoptisk sensorenhet (205).



Foreliggende oppfinnelse vedrører overvåking av strømningsbetingelser i brønner, for eksempel olje- eller gassbrønner, ved å bruke distribuert fiberoptisk avføling, spesielt distribuert fiberoptisk, akustisk avføling.

I noen situasjoner er det ønskelig å overvåke fluidstrømning nede i en
5 brønn, for eksempel innstrømning i en olje- eller gassproduserende brønn ved en gitt dybde/avstand i en brønn. Gjennomstrømningsmengden til produktet ved toppen av brønnen kan bestemmes på en forholdsvis enkel måte, for eksempel ved å bruke en passende strømningsmåler. Innstrømningen ved forskjellige dybder/avstander inn i brønnen, kan imidlertid være av interesse. Det kan for
10 eksempel være ønskelig å bestemme det relative bidraget til den totale strømmingen for de forskjellige seksjonene av brønnen som danner et innløp for oljen eller gassen.

Dette kan være nyttig for langsiktig overvåking og/eller for å tilveiebringe nyttig informasjon for planlegging av fremtidige brønner. Anleggelsen av en
15 produksjonsbrønn innebærer typisk å bore inn i en bergstruktur som inneholder et reservoar med hydrokarboner, og å utføre et perforeringstrinn hvor hull-ladninger blir avfyrt for å perforere bergarten og tilveiebringe en strømningsbane for oljen/gassen. Det kan typisk være mange perforeringssteder ved forskjellige avstander inn i brønnen. Overvåking av strømmingen ved påfølgende drift, fra
20 hvert perforeringssted kan tilveiebringe nyttig informasjon for planlegging av perforeringsstedene i andre brønner. Ved boring av noen brønner kan det også være et fraktureringstrinn etter perforeringstrinnet, for eksempel hydraulisk frakturering hvor fluider blir presset inn i brønnen under trykk for å frakturere eller bryte bergformasjonen for å frigjøre oljen/gassen fra formasjonen og tilveiebringe
25 en strømningsbane. Overvåking av strømmingen for de forskjellige innstrømningsstedene kan gi informasjon om hvor vellykket fraktureringstrinnet har vært og om strømmingen kommer jevnt fra alle steder eller om det er betydelige forskjeller i innstrømning ved forskjellige deler av reservoaret. Overvåking av strømmingen kan også tilveiebringe indikasjoner på endringer i strømmingen fra forskjellige deler av
30 reservoaret over tid.

I noen tilfeller kan en brønn også være inndelt i et antall forskjellige produksjonssoner som eies eller leies av forskjellige organisasjoner. Dermed kan

det være behov for å bestemme det relative bidraget til den totale strømmingen fra hver produksjonssone.

Det kan også være ønskelig å overvåke utstrømning i injeksjonsbrønner, for eksempel for å overvåke om det injiserte fluidet blir injisert jevnt inn i reservoaret.

5 Bruken av permanente strømningsmålere ved forskjellige dybder i en brønn er vanligvis ikke praktisk på grunn av vanskelighetene ved å tilveiebringe tilstrekkelig robust utstyr som kan overleve i de barske tilstandene i en produksjonsbrønn over lengre tidsperioder, og vanskelighetene ved å installere slikt utstyr med en egnet kraftforsyning og midler for overføring av strømningsdataene til overflaten. Strømningsavlesninger blir derfor utført periodisk ved innføring av kabelverktøy som har én eller flere strømningsmålere i brønnen på midlertidig basis og ta strømningsavlesninger ved forskjellige steder. Bruken av kabelverktøy innebærer imidlertid stans av vanlige brønnoperasjoner og er en forholdsvis kostbar prosedyre.

15 Forskjellige fiberoptiske sensorer er blitt foreslått for anvendelse nede i brønner. Fiberoptiske sensorer avspør en optisk fiber og analyserer den tilbakespredte strålingen, enten fra spesielle punktsensorer inne i fiberen (f.eks. Bragg-fibergittere eller lignende) for å bestemme, fra de intrinsiske spredningsstedene inne i selve fiberen, forskjellige parametere slik som spenning, vibrasjon eller temperatur.

20 Fiberoptisk distribuert akustisk avføling (DAS) er for eksempel en kjent teknikk hvorved en lengde med optisk fiber blir optisk avspurt, vanligvis ved hjelp av én eller flere inngangspulser, for å tilveiebringe avføling av akustisk aktivitet langs dens lengde. Optiske pulser blir sendt inn i fiberen, og den strålingen som spres tilbake fra fiberen blir detektert og analysert. Ved å analysere den strålingen som er tilbakespredt i fiberen, kan fiberen effektivt inndeles i et antall diskrete avfølingspartier som kan være (men som ikke behøver å være) tilstøtende hverandre. I hvert diskret avfølingsparti forårsaker mekaniske forstyrrelsen av fiberen, for eksempel deformasjoner som skyldes innfallende akustiske bølger, en variasjon i egenskapene til strålingen som blir spredt tilbake fra vedkommende parti. Denne variasjonen kan detekteres og analyseres og brukes til å gi et mål på intensiteten til forstyrrelsen av fiberen ved avfølingspartiet. Fiberoptisk, distribuert temperaturavføling er også kjent og beror igjen på optisk avspørring av en optisk

fiber og analysering av tilbakespredt stråling. Ved å analysere den tilbakespredte strålingen over tid kan temperaturendringer ved forskjellige deler av den optiske fiberen bestemmes.

Anvendelsen av fiberoptiske brønnhullsensorer kan være fordelaktig ettersom den fiberoptiske kabelen kan være lagd forholdsvis robust og dermed kan overleve i et brønnmiljø, og ingen kraftforsyning er nødvendig nede i brønnen. Beskaffenheten til sensoren betyr at data lett kan innhentes fra forskjellige avstander i brønnen.

WO 2010/136773 beskriver bruk av slike akustiske data til å overvåke forskjellige aktiviteter i forbindelse med anlegg og drift av brønner, og antyder at DAS kan benyttes til strømningsovervåking. Dette dokumentet beskriver at den optiske fiberen som skal brukes til avføling, kan installeres i brønnen under anleggstrinnene og at den optiske fiberen kan festes på utsiden av et ytre fôringsrør som er presset ned i brønnen og som deretter er sementert på plass. Dette gir god akustisk kobling til fiberen og forstyrrer ikke etterfølgende brønndrift. Det betyr også at fiberen kan brukes til avføling under påfølgende trinn i utformingen av brønnen slik som ved perforering.

Det finnes imidlertid et betydelig antall eksisterende brønner hvor det ikke finnes noen fiber.

I tillegg vil bruken av en optisk fiber på utsiden av fôringsrøret vanligvis ikke bety at den optiske fiberen er tilstede når perforeringsladningene er avfyrt. Etter at brønnhullet er blitt boret, blir fôringsrøret vanligvis innsatt gjennom hovedsakelig hele arbeidslengden/dybden til brønnen, og så sementert på plass (i det minste over en del av brønnen), vanligvis ved å presse sement gjennom fôringsrøret til bunnen og ut for å fylle tomrommet mellom fôringsrøret og brønnhullet. Dette skjer før perforeringen. Under perforeringen må det derfor tas forholdsregler for å orientere perforeringsladningen bort fra fiberen for å unngå at fiberen brekker når ladningene blir avfyrt. Den nøyaktige orienteringen av perforeringsladningene og posisjonen til fiberen er imidlertid vanligvis ikke kjent, og dermed kan teknikker slik som magnetisk anomalideteksjon brukes, noe som fører til ytterligere kompleksitet og fordyrer brønnanlegget.

Det vil derfor være ønskelig å kunne overvåke produksjonsstrømning ved forskjellige dybder i en brønn under bruk uten å måtte innføre spesiell instrumen-

tering i strømmen. Det vil også være ønskelig å kunne overvåke strømning i eksisterende brønner.

Ifølge foreliggende oppfinnelse er det derfor tilveiebrakt en fremgangsmåte for strømningsovervåking i en brønn, omfattende: å utføre fiberoptisk avføling på en optisk fiber som er utplassert inne i brønnen, hvor den optiske fiberen er festet til det første røret som strekker seg inne i brønnen til i det minste en første posisjon hvor det er ønskelig å overvåke strømning, og hvor røret omfatter minst én åpning som har kjente egenskaper ved den første posisjonen.

Fremgangsmåte ifølge foreliggende oppfinnelse benytter derfor fiberoptisk avføling på en optisk fiber som er utplassert inne i brønnen. Foreliggende oppfinnelse kan implementeres ved å bruke en hvilken som helst fiberoptisk sensortype som kan måle parametere som tilveiebringer informasjon om strømning ved en gitt posisjon i en brønn, men oppfinnelsen er spesielt anvendbar for distribuert, akustisk avføling og/eller distribuert temperaturavføling.

Uttrykket "distribuert fiberoptisk avføling" slik det brukes i denne beskrivelsen, skal bety en avføling ved hjelp av optisk avspørring av en optisk fiber for å tilveiebringe et antall diskrete avfølingspartier som er distribuert langs den langsgående retningen til fiberen, og uttrykket "distribuert fiberoptisk sensor" skal tolkes tilsvarende. En distribuert akustisk sensor skal likeledes bety en slik sensor som detekterer et akustisk signal som treffer fiberen. Uttrykket "akustisk" skal tolkes til å bety mekanisk vibrasjon eller trykkbølge av hvilken som helst type, omfattende seismiske bølger.

Den optiske fiberen er festet til det første røret som strekker seg inne i brønnen i det minste så langt som til den posisjonen hvor det er ønskelig å måle strømningen. Det første røret tilveiebringer (i det minste en del av) strømningsbanen mellom brønnhodet og den første posisjonen. I en produksjonsbrønn må ethvert produkt som strømmer til overflaten, derfor strømme gjennom det første røret.

Det første røret har minst én åpning med kjente egenskaper. Det vil derfor være klart at det første røret er atskilt fra et eventuelt ytre fôringsrør som er sementert på plass. Et slikt fôringsrør er innsatt uten noen åpninger i sideveggene, og selv om åpninger blir dannet i fôringsrøret når perforeringsladningene avfyres, vil de resulterende åpningene tydeligvis ha ukjente parametere. Det første røret er

derfor det røret som er atskilt fra, og innsatt inne i, et slikt fôringsrør, og brukt til å sørge for strømning av ethvert produkt.

Mange brønner benytter ofte et indre rør, ofte referert til som et produksjonsrør, inne i det ytre fôringsrøret, for å føre en produktstrøm, men bare i en øvre seksjon av brønnen. Produksjonsrøret blir holdt på plass av én eller flere pakninger som hindrer annen strømning av fluid gjennom røret. Produksjonsrøret strekker seg imidlertid ikke over hele lengden av brønnen. Produksjonsrøret er vanligvis installert i en seksjon av brønnen som er i en viss avstand fra posisjonen til perforeringsstedene.

I noen brønner kan for eksempel et borehull bores til en viss dybde, f.eks. hovedsakelig vertikalt, hvor reservoaret med f.eks. olje/gass befinner seg. Ved den gitte dybden kan borehullet så endre retning og bores for å maksimalisere lengden til brønnboringen inne i reservoaret, f.eks. hovedsakelig horisontalt. Hele borehullet kan føres med et fôringsrør og utsiden av fôringsrøret forsegles med sement (slik at ingen strømning kan skje på utsiden av fôringsrøret) for å hindre forurensing av høyere lag, aquiferer, osv. I en slik brønn vil, etter perforering (som skjer i den seksjonen av borehullet som løper gjennom reservoaret og som kan være horisontal) produksjonsrøret bli installert bare i den øvre vertikale delen av borehullet. Konstruksjoner slik som pakninger blir brukt til å hindre tilgang for oljen/gassen til den første seksjonen annet enn via produksjonsrøret. Strømningen i den første seksjonen kan dermed bare skje inne i produksjonsrøret. Produksjonsrøret vil strekke seg bare over en kort avstand forbi den siste pakningen, og resten av borehullet vil under bruk bli fylt med olje og gass.

Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse kan derfor omfatte å utplassere mer rørledning inne i brønnen enn hva som ellers vil være konvensjonelt. Oppfinnerne har imidlertid innsett av tilføyelse av slik ytterligere rørledning er forholdsvis enkelt og lett kan anvendes i forbindelse med eksisterende brønnen. Et lederør, også kjent som en stinger, kan for eksempel anvendes i forbindelse med eksisterende rør for å bidra til føring/posisjonering av et konvensjonelt brønnverktøy. Rør, slik som et lederør, kan derfor kobles til produksjonsrøret og brukes som det første røret ifølge foreliggende fremgangsmåte, det første røret kan derfor omfatte et lederør. I andre tilfeller kan imidlertid produksjonsrøret forlenges forbi den vanlige dybden i brønnen.

Uttrykket strømningsrør slik det er brukt her, skal referere til rør i en brønn som er tilstede i en proksimal del av brønnen (dvs. den del av brønnen som er nærmest brønnhodet) og som fører fluid til eller fra en distal del av brønnen. Strømningsrør kan derfor omfatte produksjonsrør i en konvensjonell produksjonsbrønn. Det første røret som brukt i utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse, skal være anordnet for å bli koblet til og være i fluidkommunikasjon med strømningsrøret og kan i noen tilfeller omfatter en fortsettelse av den samme rørtypen som utgjør strømningsrøret. I en produksjonsbrønn kan derfor strømningsrøret omfatte produksjonsrøret, og det første røret kan omfatte en forlenget seksjon av produksjonsrøret. Det første røret og strømningsrøret er forskjellige fra eventuelle ytre brønnføringsrør som er sementert på plass inne i borehullet. Det første røret strekker seg over strømningsbanen for strømningsrøret til den første posisjonen hvor det er ønskelig å overvåke innstrømning. Ettersom det første røret er forbundet med og utgjør en strømningsbane med strømningsrøret, og kan i noen tilfeller omfatte den samme rørtypen, kan hele strømningsbanen fra brønnhodet til den første posisjonen hvor det er ønsket å overvåke innstrømning, ses å omfatte det første røret.

Strømningen gjennom den i den minste ene åpningen i det første røret vil dermed være en indikasjon på strømningen i brønnboringen ved dette punktet. Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse sikrer dermed at et innløp (for en produksjonsbrønn, eller et utløp for en injeksjonsbrønn) til hovedstrømningsbanen i brønnen er lokalisert ved den posisjonen hvor det er ønsket å overvåke strømningen. Den optiske fiberen som er festet til røret, kan så avspørres for å overvåke strømningen ved denne posisjonen som nærmere beskrevet nedenfor.

Brønnen kan derfor omfatte minst en første seksjon i hvilken fluid som skal transporteres i brønnen er begrenset til å strømme via et strømningsrør (f.eks. produksjonsrøret) og blir hindret fra å oppta den første seksjonen av brønnhullet utenfor strømningsrøret, og en annen seksjon hvor fluidet som skal transporteres via brønnen, kan finnes inne i det første røret og også på utsiden av det første røret. Det første røret kan derfor strekke seg inn i den andre seksjonen, for eksempel til posisjonen for minst ett perforeringssted, og være i fluidkommunikasjon med strømningsrøret i den første seksjonen. Den andre seksjonen kan omfatte minst én ikke-vertikal seksjon.

Utplasseringen av det ytterligere røret blir imidlertid bare utført hvis det behov, og vil da tillate kontinuerlig strømningsovervåking under bruk.

I noen utførelsesformer strekker det første røret seg inn i brønnen til et antall posisjoner ved hvilke det er ønskelig å overvåke innstrømning, og hvor røret har minst én åpning plassert ved hver av posisjonene. Det kan for eksempel være et antall perforeringssteder hvorfra det er ønsket å overvåke strømning, og det første røret kan strekke seg så langt inn i brønnen som til det fjerneste perforeringsstedet. Ved hvert perforeringssted vil det være minst én åpning for å tillate strømning mellom brønnhullet og det første røret ved vedkommende posisjon. Man vil forstå at strømningen inn i (eller ut av) det første røret ved enhver gitt posisjon vil svare til strømningen inn i (eller ut av) brønnhullet ved vedkommende posisjon.

Den distale enden av det første røret i brønnen kan være forseglet slik at åpningene alle er anordnet i en sidevegg av røret. I noen anvendelser kan imidlertid den distale enden av røret omfatte en åpning med kjente egenskaper.

Her skal det bemerkes at det første røret kan omfatte flere forskjellige lag/materialer og/eller kan omfatte mer enn ett rør, f.eks. minst ett indre rør for å tilveiebringe en strømningsbane og minst ett ytre rør for å tilveiebringe ettergivenhet. Røret må ikke nødvendigvis ha noen spesiell tverrsnittsform selv om et hovedsakelig sirkulært tverrsnitt sannsynligvis er mest hensiktsmessig i noen brønner.

Der hvor det er flere forskjellige rør som utgjør det første røret, kan den optiske fiberen være festet til et hvilket som helst av rørene. Den optiske fiberen kan være festet til innsiden av røret, dvs. inne i strømningsbanen, eller på utsiden av røret, på den ytre overflaten eller festet til en mellomliggende flate eller innbakt inne i materialet i veggene til røret.

Den optiske fiberen er hensiktsmessig festet til det første røret for å ha en kjent orientering i forhold til den minst ene åpningen. Det å ha en kjent orientering i forhold til den minst ene åpningen, betyr at en potensiell variabel i responsen fra den fiberoptiske sensoren er eliminert. Responsen på den fiberoptiske avfølingen på en gitt strømningstilstand kan dermed forutsies, for eksempel ved å hente inn i data ved bruk av det samme arrangementet i et passende forsøk ved å bruke kontrollerte strømningsbetingelser før røret blir innsatt i brønnen.

I noen utførelsesformer kan det første røret omfatte et antall åpninger med kjente egenskaper ved den første posisjonen. Det å ha flere åpninger kan i noen tilfeller gi en forbedret respons, og effektene av strømning gjennom flere åpninger kan detekteres. I andre anvendelser kan imidlertid tilveiebringelse av en enkelt
5 åpning for strømning konsentrere strømmingen og vise en mer detekterbar respons. En fagkyndig på området som kjenner driftskaraktistikkene til en gitt, eksisterende eller foreslått brønn, kan lett bestemme en foretrukket implemen-tering og forskjellige åpningsarrangementer kan forberedes og underkastes forskjellige strømningshastigheter under forsøk for å bestemme et foretrukket
10 arrangement.

I utførelsesformer hvor det er et antall åpninger ved hver posisjon, kan i det minste noen av de samme egenskapene som en annen slik at disse åpningene kan forventes å gi den samme responsen på gitte strømningstilstander. I tillegg eller alternativt kan minst én av åpningene ha forskjellige egenskaper i forhold til
15 hverandre. Det å se på den totale responsen på strømning gjennom åpninger med forskjellige kjente egenskaper, kan bidra til å bestemme de aktuelle strømningskaraktistikkene på en bedre måte. Åpningskaraktistikkene kan omfatte åpningsstørrelsen og formen, dvs. åpningens geometri.

I utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse er minst én åpning utformet
20 for å tilveiebringe en karakteristikk som varierer med strømningshastigheten gjennom åpningen. Den karakteristikken som varierer med strømningshastigheten, kan være en akustisk karakteristikk slik som akustisk intensitet og/eller akustisk frekvens.

I én utførelsesform kan derfor én eller flere åpninger være anordnet slik at
25 den akustiske intensiteten som genereres ved strømning gjennom åpningen, varierer med strømningshastigheten. Den akustiske intensiteten kan dermed detekteres ved å bruke den optiske fiberen for distribuert akustisk avføling og overvåking av den akustiske intensiteten fra avfølingspartiene. Det støynivået som detekteres ved hjelp av distribuert, akustisk avføling fra et eller flere relevante
30 avfølingspartier av den optiske fiberen, kan analyseres. Intensiteten fra forskjellige avfølingspartier som svarer til posisjonen for åpninger ved forskjellige steder i brønnhullet, kan dermed sammenlignes for å tilveiebringe en relativ indikasjon på strømmingen ved disse seksjonene. Hvis avfølingspartiet ved siden av en åpning

ved den første posisjonen detekterer et akustisk signal med høy intensitet mens en avfølingsparti ved en åpning ved en annen posisjon detekterer et akustisk signal med lav intensitet, kan dette indikere at det er større strømming ved den første posisjonen enn ved den andre posisjonen. Gitt at både egenskapen til
5 åpningen eller åpningene og den relative posisjoneringen av fiberen er kjent for hver posisjon, kan responsene ved de forskjellige posisjonene kalibreres for sammenligning med hverandre. I noen utførelsesformer kan intensiteten analyseres ved én eller flere frekvenser av interesse, noe som kan avhenge av de kjente egenskapene til åpningen. Den absolutte verdien av intensiteten kan
10 sammenlignes med kjente verdier som for eksempel er registrert i et forsøk ved å bruke lignende åpninger i lignende rør og en kjent strømningshastighet, for å gi et aktuelt estimat av strømningshastigheten.

Frekvensen til ethvert detektert akustisk signal kan også analyseres. Åpningen eller åpningene kan være anordnet slik at frekvensen til det akustiske
15 signalet varierer med strømningshastighet. Det å se på frekvenskomponentene til det detekterte signalet, kan det følgelig være mulig å estimere strømningshastigheten eller i det minste den relative strømningshastigheten fra forskjellige posisjoner. Minst én åpning kan for eksempel være utformet for å ha en resonansrespons ved en gitt frekvens og som kan resonere sterkt eller ikke avhengig av
20 strømningshastighet. Deteksjon av en sterk komponent ved den relevante frekvensen (eller eventuelt også bare forekomsten av en sterk tone) vil dermed indikere resonans og dermed strømningshastigheten. Der hvor det er et antall åpninger ved hver posisjon, kan en åpning produsere et forholdsvis intenst akustisk signal ved en første frekvens ved en første strømningshastighet, mens en
25 annen åpning kan frembringe en intens respons ved en annen, forskjellig frekvens ved en annen, forskjellig strømningshastighet.

Det skal bemerkes at resonansfrekvensen vil avhenge av lydhastigheten i nærheten av åpningen som igjen vil avhenge, i det minste delvis, av egenskapene til materialet. Det kan derfor være mulig å overvåke hvordan en sterk frekvens
30 endrer seg over tid for å detektere endringer i materialeegenskaper og/eller sammenligne frekvensene som genereres ved forskjellige identifiserte åpninger som befinner seg ved forskjellige posisjoner, for å bestemme den lokale lydhastigheten eller materialeegenskapene.

Den karakteristikken som varierer, kan i tillegg eller alternativt være temperatur. Åpningen kan være formet for å tilveiebringe en definert temperatur-
endring som varierer basert på strømningshastighet.

5 Fremgangsmåten kan derfor omfatte utførelse av distribuert, akustisk
avføling (DAS) på den optiske fiberen. Fremgangsmåten kan omfatte å analysere
intensiteten og/eller frekvensen til de akustiske signalene som detekteres i
nærheten av den minst ene åpningen. En indikasjon på strømningshastighet ved
den første posisjonen kan bestemmes fra detekterte akustiske signalene. Som
nevnte ovenfor kan dette være en relativ strømningshastighet sammenlignet med
10 andre seksjoner av brønnen og/eller en indikasjon på absolutt strømnings-
hastighetsverdi.

Fremgangsmåte kan i tillegg eller alternativt omfatte å utføre optisk
distribuert temperaturavføling (DTS) på den optiske fiberen. Som nevnt ovenfor,
kan den optiske fiberen være innrettet for å detektere temperaturendringer
15 indusert av strømning gjennom åpningen eller kan ganske enkelt være innrettet for
å tilveiebringe en indikasjon på temperaturen til fluidet ved en gitt posisjon.

Når både distribuert, akustisk avføling og distribuert temperaturavføling blir
utført, kan den samme optiske fiberen i noen tilfeller brukes for begge teknikkene.
En egnet optisk fiber kan for eksempel være multiplekset mellom to passende
20 interogatorer. I noen utførelsesformer kan det imidlertid være minst to separate
optiske fibre festet til det første røret, minst én for DAS og minst én for DTS.

Det skal bemerkes at når åpningsegenskapene er kjent (og utformet som
ønsket) og arrangementet av den optiske fiberen i forhold til åpningen også er
kontrollert, så kan de hovedvariable i den detekterte responsen (fra den distri-
25 buerte optiske sensoren) skyldes strømningstilstander. Fremgangsmåten ifølge
foreliggende oppfinnelse muliggjør derfor ikke bare fiberoptisk-basert strømnings-
overvåking i brønner som ikke på annen måte kan overvåkes, men den gir et
middel til å detektere en respons på standardtilstander, dvs. overvåking ved å
bruke et standardisert arrangement. Disse (overvåkings) tilstandene vil videre
30 forbli konstante over tid, dvs. at åpningene vil være laget av et slitasjebestandig
materiale og dermed vil opprettholde den samme geometrien og dermed oppvise
de samme egenskapene over tid. Åpningene kan for eksempel være laget av eller
fôret med et keramisk materiale slik som aluminiumsoksid. Slike keramikktyper er

meget temperatur- og slitasjebestandige og kan lett fremstilles via sprøyte-støpingsteknikker.

I den løsningen som er beskrevet i WO 2010/136773 kan eventuell akustisk støy fra innstrømningen fra perforeringsstedene overvåkes ved hjelp av en
5 eventuell fiber som er i nærheten av perforeringsstedene. Selv om dette kan gi en indikasjon på strømning som nevnt ovenfor, vil det være betydelige ukjente og variasjoner. Den nøyaktige posisjonen til fiberen i forhold til perforeringsstedene vil være ukjent. Kontrollen av perforeringsretningen er ikke eksakt og i situasjoner hvor perforeringen avfyres gjennom en føringsrør (som en fiber kan være festet til)
10 kan en magnetisk anomalidetektor vanligvis brukes til å bidra til orienteringen slik at ladningen ikke deler fiberen når den avfyres. Den nøyaktige retningen av perforeringene er dermed vanligvis ikke kjent, og derfor er posisjonen til den optiske fiberen i forhold til perforeringen ukjent og vil typisk variere ved hvert perforeringssted. Det er også klart at åpningene i føringsrøret vil variere avhengig av type
15 perforeringsladning, hvor effektiv den var og egenskapene til føringsrøret og den omgivende bergarten ved det gitte perforeringsstedet. Egenskapene til innstrømningsåpningene vil derfor være ukjente. I brønner som krever hydraulisk frakturering, vil fraktureringsprosessen også klart påvirke innstrømningsåpningene på en totalt uforutsigbar måte. Perforeringene kan også endre seg over tid etter-
20 som strømningen inntreffer og erosjon av det skadede materialet på perforeringsstedet skjer.

Selv i brønner hvor den optiske fiberen som er egnet for fiberoptisk avføling er tilstede, tilveiebringer dermed fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse bedre kalibrerte og mer pålitelige data. Slik data kan sammenlignes med
25 passende modeller og/eller data som er blitt innsamlet under kontrollerte forhold ved å bruke de kjente åpningsegenskapene. Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse kan dermed tilveiebringe et bedre estimat av relativ strømning eller estimer av absolutte strømningsverdier enn tidligere kjente teknikker.

Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse beror heller ikke på fibre
30 som er i en fast posisjon på utsiden av noe ytre føringsrør som er tilstede under perforeringstrinnet. Det er dermed ikke noe behov for å sikre at perforeringsladningen blir avfyrt bort fra den optiske fiberen, noe som letter perforeringstrinnet

og også fjerner en potensiell begrensning. Perforeringen kan dermed avfyres i en hvilken som helst retning for å oppnå god produksjon.

I noen utførelsesformer kan den optiske fiberen være festet til det første røret slik at en første lengde av det første røret som innbefatter den minst ene
5 åpningen ved den første posisjonen, omfatter en seksjon av optisk fiber som lengre enn den første lengden. Som fagkyndige på området vil forstå, vil en distribuert fiberoptisk sensor tilveiebringe målesignaler fra diskrete avfølingspartier av fiberen. Den minste størrelsen på et avfølingsparti, dvs. den beste rommessige oppløsningen for avfølingspartiene, vil avhenge av avspøringsstrålingen (og den
10 anvendte behandlingen), og en kortere lengde av avfølingspartiet (dvs. bedre rommessig oppløsning) vil kreve kortere pulser (med reduserte signalreturer og lavere følsomhet). Den effektive rommessige oppløsningen vil imidlertid avhenge av den lengden av fiberen som er utplassert i bruk over en gitt avstand. Fremgangsmåten kan derfor innebære forbedring av den rommessige oppløsningen
15 som kan oppnås ved å sikre at en gitt lengde av det første røret, f.eks. 1m, har mer enn denne lengden med optisk fiber, dvs. mer enn 1m. Anta for eksempel at den optiske fiberen blir brukt til distribuert akustisk avføling og at minimumslengden til avfølingspartiet den ønsket å bruke (for sensitivitetens skyld) er av en lengden på 5m. Når 5m med optisk fiber skal tilveiebringes for hver 1m lengde av
20 røret, blir den effektive rommessige oppløsningen 1m.

Den optiske fiberen kan være festet til det første røret slik at den distribuerte fiberoptiske avfølingen har en større rommessig oppløsning i nærheten av minst én åpning enn i nærheten av en seksjon av røret uten noen åpning. Det kan
25 være at økt rommessig oppløsning bare er nødvendig i nærheten av åpningen eller åpningene.

Den optiske fiberen kan ha et oppkveilet arrangement, i det minste i nærheten av den minst ene åpningen, dvs. at fiberen kan være anordnet i et skruell eller spiralarrangement for å tilveiebringe en økt effektiv signaloppløsning.

Oppfinnelsen angår også en anordning for strømningsovervåking. Ifølge et
30 annet aspekt ved oppfinnelsen er det tilveiebrakt en anordning for strømningsovervåking i brønner, omfattende: et første rør innrettet for, under bruk, å være forbundet med strømningsrør i en brønn, hvor det første røret har minst én åpning

med kjente egenskaper, og en optisk fiber festet til det første røret og utformet slik at den optiske fiberen kan brukes til distribuer fiberoptisk avføling.

5 Anordningen ifølge dette aspektet ved oppfinnelsen kan brukes i alle varianter av fremgangsmåten som er beskrevet ovenfor, og tilveiebringer alle de samme fordelene. Det første røret kan spesielt omfatte et lederør og/eller enden av det første røret som under bruk ikke er forbundet med strømningsrøret, kan være forseglet.

10 Den optiske fiberen kan være utformet for å ha en kjent orientering i forhold til den minst ene åpningen. Det første røret kan omfatte et antall åpninger med kjente egenskaper ved den første posisjonen. I det minste noen av antallet åpninger ved den første posisjonen kan ha de samme egenskapene som en annen, og/eller den minst ene av åpningene kan ha forskjellige egenskaper i forhold til hverandre.

15 Minst én åpning kan være utformet for å tilveiebringe en karakteristikk som varierer med strømningshastigheten gjennom åpningen. Den karakteristikken som varierer med strømningshastigheten, kan være minst én av akustisk intensitet, akustisk frekvens og temperatur. Minst én åpning kan være utformet for å ha en resonansfrekvens som varierer med strømningshastigheten.

20 Det første røret kan være utplassert i en brønn koblet til strømningsrør, og den optiske fiberen kan strekke seg til brønnhodet og være forbundet med en avspøringsenhet for distribuert, fiberoptisk avføling. Avspøringsenheten kan omfatte en avspøringsenhet for en distribuert, akustisk sensor og/eller en avspøringsenhet for en distribuert temperatursensor.

25 Oppfinnelsen vil nå bli beskrevet ved hjelp av et eksempel under henvisning til de etterfølgende tegningene, hvor:

Figur 1 illustrerer et eksempel på et konvensjonelt brønnarrangement;

Figur 2 illustrerer et brønnarrangement ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

30 Figur 3 illustrerer en seksjon av et rør som kan brukes til overvåking ifølge en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse; og

Figur 4 illustrerer et konvensjonelt distribuert, fiberoptisk sensor-arrangement.

Figur 1 illustrerer ett eksempel på en konvensjonell produksjonsbrønn 101. Brønnen omfatter et brønnhull 102 som er boret inn i undergrunnen 103. I dette eksempelet er brønnhullet boret hovedsakelig vertikalt til en ønsket dybde hvor det befinner seg et hydrokarbonreservoar, og så er brønnhullet boret hovedsakelig horisontalt gjennom reservoaret. Avhengig av posisjon kan imidlertid brønnen være boret ved en vinkel bort fra vertikalen for å nå reservoaret, og så kan en passende vei som maksimaliserer passasjen a brønnhullet gjennom reservoaret, bores.

Brønnhullet kan passere gjennom forskjellige bergartslag som må beskyttes fra forurensing under drift av brønnen. Et fôringsrør 106 kan derfor være innsatt i brønnhullet til i det minste én nødvendig dybde, typisk hele avstanden til brønnen, og eventuelle tomrom mellom fôringsrøret og brønnhullet blir fylt med betong (legg merke til at tallet 106 er ment å representere et fôringsrør som er sementert på plass. Dette sikrer at når brønnen deretter blir perforert, kan eventuell olje- eller gass-strømning innledningsvis bare flyte inne i fôringsrøret 106. Etter et perforeringstrinn vil et strømningsrør som i dette eksempelet er et produksjonsrør 107, bli innsatt i en første seksjon 104 av brønnen for å føre produktene til brønnhodet 108. Den første seksjonen strekker seg fra overflaten av bakken 103 til en ønsket dybde 105. Dybden 105 kan velges som en dybde ved hvilken det er ønsket å hindre forurensing av aquifer-lag, osv. (produksjonsrøret som er installert i fôringsrøret 106, gir i tillegg lekkasjebeskyttelse). Den første seksjonen av brønnen kan imidlertid være den minste dybden som er nødvendig for å oppnå god strømning. I alle fall strekker produksjonsrøret seg ikke over den fullstendige lengden til brønnen.

Produksjonsrøret kan holdes på plass ved hjelp av én eller flere pakninger 109, og pakningen lengst inn i brønnen virker som en barriere som forhindrer eventuell strømning av olje eller gass inn i den første seksjonen av brønnen 104 annet enn gjennom produksjonsrøret 107.

En fagkyndig person vil selvsagt forstå at det kan være forskjellige andre fôringsrør og andre anordninger slik som pumper, osv., i praksis. Det vil imidlertid bli forstått at i den første seksjonen av brønnen er strømmingen kun gjennom produksjonsrøret 107. Produksjonsrøret strekker seg over en kort avstand forbi

den siste pakningen 109 inn i den andre seksjonen av brønnen (dvs. den delen av brønnen som er under dybden 105).

Den andre seksjonen av brønnen som i dette eksempelet innbefatter den horisontale seksjonen av brønnen, er der hvor perforeringsstedene 110a-c er plassert (bare tre er vist på fig. 1, men en fagkyndig vil forstå at det kan være mange flere i praksis). Som nevnt ovenfor, kan passasjen av brønnhullet gjennom reservoaret maksimaliseres ved å bore hovedsakelig horisontalt. Det kan dermed være flere forskjellige perforeringssteder 110 plassert langs lengden av brønnseksjonen.

I en slik konvensjonell brønn vil strømning inntreffe fra perforeringsstedene, og produktet vil strømme inne i brønnhullet 102, fylle hele føringsrøret 106, til den første seksjonen, hvor det vil strømme bare gjennom produksjonsrøret 107 for å nå brønnhodet 108. Strømningen ved brønnhodet kan overvåkes, men det er klart at dette representerer kombinert strømning fra alle perforeringsstedene. Det er derfor ikke mulig å bestemme den relative strømningen fra de forskjellige perforeringsstedene. Som illustrert på fig. 1, behøver dette heller ikke å være mulig, og strømningen fra perforeringsstedet 110c kan være meget lavere enn strømningen fra stedene 110a og 110b. Denne informasjonen kan være nyttig ettersom den kan indikere at en slik seksjon av reservoaret leverer lavere ytelse, noe som kan være nyttig for planlegging av ytterligere brønner.

Hvis en eventuell optisk fiber (ikke vist) hadde vært innbefattet inne i brønnen da den ble laget, slik som beskrevet i WO 2010/136773, kan en slik fiber være på utsiden av føringsrøret 106 i den andre seksjonen. Selv om denne fiberen kunne vært brukt til å tilveiebringe fluidovervåking, tilveiebringer utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse meget mer pålitelig og nøyaktig strømningsovervåking.

Figur 2 illustrerer en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. Figur 2 viser det samme brønnarrangementet som fig. 1, og dermed er de samme komponentene identifisert ved å bruke de samme henvisningstallene, men i den brønnen som er vist på fig. 2, er et ytterligere rør 201 blitt inkludert, som er koblet til bunnen av produksjonsrøret 107 og som strekker seg til brønnen i det minste så langt som til perforeringsstedet 110c.

Det ytterligere røret kan omfatte en forlengelse av produksjonsrøret 107 og være montert samtidig som produksjonsrøret. For eksisterende brønner kan dette innebære fjerning av det eksisterende produksjonsrøret og installering av produksjonsrøret med forlengelsen. I noen brønner kan det imidlertid være mulig å tilføye
5 forlengelsesrøret ved å mate det gjennom det eksisterende produksjonsrøret. Et verktøy kalt et lederør blir noen ganger brukt på denne måten for å danne en føring for andre brønnhullsverktøy. Et egnet lederør kan derfor brukes ved røret 201. Ethvert rør som kan forbindes med produksjonsrøret 107 for å tilveiebringe en forlengelse av strømningsbanen, kan brukes. Bruk av et lederør muliggjør også
10 dybdekalibrering ettersom posisjonen til lederøret nede i brønnen er kjent ganske nøyaktig.

Som nevnt strekker det ytterligere røret seg i det minste til perforeringsstedet 110c. I nærheten av hvert perforeringssted 110a, 110b og 110c er det minst en respektiv åpning 202a, 202b, 202c for å tilveiebringe et innløp for strømning av
15 produktene inn i røret 201. Som beskrevet senere, har åpningene kjente egenskaper. Strømning fra perforeringsstedene inn i brønnhullet 102 vil dermed bare finne et utløp via røret 201 som er forbundet med produksjonsrøret 107. Produktet vil derfor strømme inn i røret 201 via åpningene 202a-c og, som en fagkyndig på området vil forstå, vil strømmingen via enhver gitt åpning avhenge av trykket inne i
20 brønnhullet ved vedkommende punkt, noe som vil bli styrt av strømmingen fra perforeringsstedene. Strømmingen gjennom enhver gitt åpning er derfor relatert til den generelle strømmingen ved vedkommende del av brønnen.

I dette eksempelet er enden av røret 201 forseglet med en passende hette 203. I andre utførelsesformer kan imidlertid enden av røret selv være formet for å
25 danne et innløp med ønskede egenskaper. I denne utførelsesformen er derfor den eneste strømningsbanen fra den andre seksjonen av brønnen til brønnhodet via åpningene 202a-c og røret 201.

Festet til røret 201 er minst én optisk fiber 204. Den optiske fiberen strekker seg i det minste så langt som til perforeringsstedet 110c og løper langs lengden av
30 røret 201. Den passerer videre gjennom den første seksjonen 104 av brønnen og kommer ut gjennom brønnhodet 108 hvor den er forbundet med en avspøringsenhet 205 som kan være en avspøringsenhet for en distribuert akustisk sensor.

Den optiske fiberen kan være festet til røret 201 på en hvilken som helst konvensjonell måte. Fiberen kan være festet til innsiden av røret 201 og kan dermed løpe inne i røret 201 og også inne i produksjonsrøret 107. Hvis røret 201 er et ytterligere rør som er innsatt i det eksisterende produksjonsrøret på stedet, så kan den fiberoptiske kabelen være fast festet til det ytterligere røret, men kan løpe relativt fritt gjennom produksjonsrøret. Hvis imidlertid produksjonsrøret er installert med det ytterligere røret påsatt, så kan den optiske fiberen være festet til produksjonsrøret på en hvilken som helst ønsket måte (eller en annen struktur som er innsatt i produksjonsrøret) og løpe inne i eller på utsiden av produksjonsrøret. Det er klart at fiberen kan være anordnet slik at den ikke interfererer med noen tetning som er utformet i røret og heller ikke interfererer med noen anordning inne i den første seksjonen 104, slik som en pumpe.

Under bruk kan derfor den optiske fiberen bli avspurt for å tilveiebringe fiberoptisk avføling i nærheten av perforeringsstedene 110a-c. Oppfinnerne har innsett at det forholdsvis enkelt å tilføye ytterligere rør til en ende av produksjonsrøret i eksisterende brønner, og dette gir tre spesielle fordeler:

- 1) det ytterligere røret kan strekke seg til perforeringsstedene og dermed tilveiebringe transport for å få avfølingsfiberen til den ønskede posisjonen;
- 2) røret kan anordnes for å tilveiebringe den eneste strømningsbanen til toppen av brønnen slik at strømmingen inn i røret ved et gitt punkt blir en indikasjon på strømmingen fra perforeringsstedet ved vedkommende posisjon;
- 3) arrangementet av den optiske fiberen i forhold til åpningene i røret 201 kan kontrollere i likhet med egenskapene til åpningene selv, for derved å sikre en kalibrert respons.

Ettersom egenskapene til åpningene og den relative posisjoneringen av fiberen i anordningen er kjent og kontrollert, betyr dette at forskjellige modeller kan anvendes på det området av responser som er forventet, og det blir mulig å utføre forsøk i en laboratorie-setting ved å bruke den samme rørledningen, åpningen og fiberarrangementet og påføre forskjellige strømningsbetingelser. Utførelsesformene av foreliggende oppfinnelse tilveiebringer derfor ikke bare muligheten til å utføre strømningsavføling under normal drift i brønner hvor slikt ikke tidligere var mulig, men også i brønner hvor en optisk fiber kan være tilstede i nærheten av perforeringssteder vil utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse tilveiebringe et

antall mer kalibrerte responser ettersom usikkerheter om strømningsåpningens størrelse, geometri og posisjon er eliminert. Åpningene i røret kan være dannet i harde materialer slik som keramikk, og dermed vil egenskapene forbli hovedsakelig konstante over tid.

5 Egenskapene til åpningene kan være valgt for å tilveiebringe en relativt sterk respons for den spesielle fiberoptiske sensoren som er implementert på den optiske fiberen. Når den optiske fiberen for eksempel skal avspørres for å tilveiebringe distribuert akustisk avføling, er åpningene utformet for å føre til en ønsket akustisk respons.

10 Responsen kan ganske enkelt være intensitet. Jo større strømning, jo større støy blir detektert. Bestemmelse av intensiteten til den akustiske responsen fra avfølingspartiet av fiberen som er ved åpningen, kan følgelig brukes til å overvåke strømning. Hvis det samme fiberarrangementet og åpningsegenskapene blir brukt for hver åpning 202a, 202b og 202c, kan den akustiske responsen fra hver
15 seksjon sammenlignes direkte for å bestemme relativ strømning. I tillegg kan som nevnt ovenfor, ettersom det direkte arrangementet av den optiske fiberen og åpningene er kjent, den ovennevnte intensiteten brukes til å estimere den absolutte strømningshastigheten ved den posisjonen hvor åpningen er.

 Åpningen kan også være anordnet for å lede til andre karakteristikk som
20 varierer med strømningshastighet. Åpningene kan for eksempel være anordnet for å generere et akustisk signal hvor frekvenskomponenten er relatert til strømningshastighet. Åpningene kan dermed være anordnet slik at en første strømningshastighet genererer en akustisk respons med sin intensitet ved en første frekvens, og en annen strømningshastighet fører til en akustisk respons med en annen
25 frekvensspredning. De akustiske signalene som detekteres under bruk, kan derfor analyseres med hensyn på frekvens for å bestemme spektre, eller den relative intensiteten ved én eller flere frekvensen av interesse og dermed bestemme den relative strømningen gjennom hver åpning.

 Én åpning kan derfor være anordnet for å ha en resonansfrekvens som
30 avhengig av strømningshastigheten (f.eks. om resonansen inntreffer eller ikke) og/eller det kan være flere åpninger ved hvert perforeringssted der i det minste noen åpninger kan produsere akustiske signaler ved definerte frekvenser når disse strømningshastigheten blir detektert, og i det minste noen av åpningene kan

være avstemt til forskjellige frekvensen ved forskjellige strømningshastigheter i forhold til hverandre. Ved en første strømningshastighet kan derfor én åpning frembringe et intenst signal ved en første frekvens, mens en annen åpning kan produsere en respons med forholdsvis lav intensitet. Ved en forskjellig strømnings-

5 hastighet kan den andre åpningen produsere en sterk respons ved en annen frekvens, mens responsen til den første åpningen kan være mindre intens.

Ettersom posisjonen til den optiske fiberen i forhold til åpningen blir kontrollert ved å arrangere fiberen på overflaten før innsettingen i brønnen, kan i tillegg et spesielt arrangement brukes, og fiberen kan være festet til røret 201 for å

10 ha en bedre følsomhet og/eller rommessig oppløsning enn hva som ville være tilfelle for et rettlinjet arrangement.

Som fagkyndige på området vil forstå, er det i en distribuert fiberoptisk sensor vanligvis et kompromiss mellom følsomhet og minimumsstørrelse av avfølingspartiene i den fiberoptiske sensoren, dvs. den relative rommessige

15 oppløsningen til sensoren. Den effektive rommessige oppløsningen er imidlertid bestemt av den fibermengden som er utplassert i et gitt område.

Figur 3 viser én utførelsesform som illustrerer en seksjon av røret 201 med et antall åpninger 202 ved et gitt posisjon. Åpningene kan for eksempel være jevnt spredt omkretsmessig omkring røret for å tilveiebringe jevnt fordelte innløp

20 omkring røret. Den optiske fiberen 204 er i dette eksempelet viklet på et spiralarrangement i nærheten av åpningene 202 selv om andre arrangementet klart er mulige. Stigningen til spiralen og antallet viklinger kan velges i henhold til de ønskede egenskapene. Hvis for eksempel den naturlige rommessige oppløsningen til den distribuerte fiberoptiske sensoren er 10m, dvs. at dette er den

25 normale lengden av avfølingspartiet, men en rommessig oppløsning på 1m blir foretrukket, kan spiralen være anordnet for å sikre at det er 10m med fiber i en seksjon på 1m av røret.

Avhengig av anvendelsen kan fiberen være anordnet for å tilveiebringe den samme rommessige oppløsningen langs lengden av røret 201, men i andre

30 anvendelser, som vist på fig. 3, kan fiberen være arrangert for å variere den rommessige oppløsningen langs røret og kan dermed tilveiebringe en økt rommessig oppløsning i visse områder, slik som nær åpningene.

Som nevnt ovenfor kan fremgangsmåten spesielt implementeres ved å bruke distribuert akustisk avføling. Figur 4 viser de grunnleggende komponentene i et konvensjonelt distribuert, akustisk avfølingsarrangement (DAS-arrangement). Som nevnt er den optiske fiberen 204 forbundet ved den øvre siden av brønnen til en avspøringsenhet 205. Utgangen fra avspøringsenheten 205 kan videresendes til en signalprosessor 401, som kan være samlokalisert med avspøringsenheten eller kan befinne seg langt fra denne, og eventuelt et brukergrensesnitt og/eller en grafisk visning 402, som i praksis kan være realisert ved hjelp av en passende spesifisert PC. Brukergrensesnittet kan være samlokalisert med signalprosessoren eller kan befinne seg langt fra denne.

Avfølingsfiberen 204 kan ha en lengde på mange kilometer og kan for eksempel være 40 km eller mer om det skulle være nødvendig. Typisk brønn-dybder kan være betydelig mindre enn dette, men fiberen kan som nevnt være viklet for å bruke mer fiber enn lengden av brønnen. Avfølingsfiberen kan være en standard, umodifisert optisk signalmodus-fiber som rutinemessig blir brukt i telekommunikasjonsanvendelser uten behov for tilsiktet innført refleksjonssteder slik som Bragg-fibergitre eller lignende (selv om noen utførelsesformer kan benytte integrerte punktsensorer i fiberen). Muligheten til å bruke en umodifisert lengde med standard optisk fiber til å tilveiebringe avføling, betyr at en billig og lett tilgjengelig fiber kan brukes. I noen utførelsesformer kan imidlertid fiberen omfatte fibre som er blitt fremstilt for å være spesielt følsomme for innfallende vibrasjoner. Fiberen vil være beskyttet ved å plassere inne i en kabelstruktur. Under bruk blir fiberen 204 utplassert som beskrevet ovenfor.

Under drift sender avspøringsenheten 205 elektromagnetisk avspørring som for eksempel kan omfatte en rekke optiske pulser med et valgt frekvensmønster, inn i avfølingsfiberen. De optiske pulsene kan ha et frekvensmønster som beskrevet i GB-patentpublikasjon GB 2 442 745 hvis innhold herved i sin helhet inkorporeres ved referanse, selv om DAS-sensorer som beror på en enkelt avspørringspuls også er kjent og kan brukes. Legg merke til at uttrykket "optisk" slik det brukes her, ikke er begrenset til det synlige spekteret, og optisk stråling innbefatter infrarød stråling og ultrafiolett stråling. Som beskrevet i GB 2 442 745 resulterer fenomenet med Rayleigh-tilbakespredning i at en hvis andel av det lyset som mates inn i fiberen, blir reflektert tilbake til avspøringsenheten, hvor det blir

detektert for å tilveiebringe et utgangssignal som er representativt for akustiske forstyrrelser i nærheten av fiberen. Avspørringsenheten omfatter derfor hensiktsmessig minst én laser 403 og minst én optisk modulator 404 for å produsere et antall optiske pulser separert av en kjent optisk frekvensdifferanse. Avspørringsenheten omfatter også minst én fotodetektor 405 anordnet for å detektere stråling som er Rayleigh-tilbakespredt fra de intrinsiske spredningsstedene i fiberen 204. En Rayleigh-tilbakespredt DAS-sensor er meget nyttig i utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse, men systemer basert på Brillouin- eller Raman-spredning er også kjent og kan brukes i utførelsesformer av oppfinnelsen.

Signalet fra fotodetektoren blir behandlet av en signalprosessor 401. Signalprosessoren demodulerer fortrinnsvis det returnerte signalet basert på frekvensdifferansen mellom de optiske pulsene, f.eks. som beskrevet i GB 2 442 745. Signalprosessoren kan også anvende en faseutpakkingsalgoritme som beskrevet i GB 2 442 745. Fasen til det tilbakespredte lyset fra forskjellige seksjoner av den optiske fiberen kan derfor overvåkes. Eventuelle endringer i den effektive optiske banelengden innenfor en gitt seksjon av fiberen, slik som vil skyldes innfallende trykkbølger som forårsaker deformasjon av fiberen, kan derfor detekteres.

Formen på den optiske inngangen og fremgangsmåten for deteksjon gjør det mulig å rommessig oppløse en enkelt kontinuerlig fiber i diskrete, langsgående avfølingspartier. Det vil si at det akustiske signalet som avføres ved et avfølingsparti, kan leveres hovedsakelig uavhengig av det avførte signalet ved et tilstøtende parti. En slik sensor kan anses som en fullstendig distribuert eller intrinsikk sensor, ettersom den bruker den intrinsiske spredningsprosessen som ligger iboende i en optisk fiber og dermed distribuerer avfølingsfunksjonen over hele den optiske fiberen.

Noen utførelsesformer kan i tillegg eller alternativt benytte distribuert temperaturavføling (DTS) som en fagkyndig vil være kjent med.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåte for strømningsovervåking i en brønn, omfattende trinn med:
5 å utføre fiberoptisk avføling av en optisk fiber som er utplassert inne i brønnen, hvor den optiske fiberen er festet til et første rør som strekker seg inne i brønnen til i det minste en første posisjon hvor det er ønskelig å overvåke innstrømning, og hvor røret omfatter minst én åpning som har kjente egenskaper ved den første posisjonen.
- 10 2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor den optiske fiberen er innrettet for å ha en kjent orientering i forhold til den minst ene åpningen.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, hvor det første røret omfatter et antall
15 åpninger med kjente egenskaper ved den første posisjonen.
4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, hvor i det minste noen blant antallet åpninger ved den første posisjonen har de samme egenskapene som en annen.
- 20 5. Fremgangsmåte ifølge krav 3 eller 4, hvor i det minste noen blant antallet åpninger ved den første posisjonen har forskjellige egenskaper i forhold til en annen.
6. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor den minst ene
25 åpningen er utformet for å tilveiebringe en karakteristikk som varierer med strømningshastighet gjennom åpningen.
7. Fremgangsmåte ifølge krav 6, hvor karakteristikken som varierer med strømningshastighet, er minst én av: akustisk intensitet, akustisk frekvens og
30 temperatur.
8. Fremgangsmåte ifølge krav 6 eller 7, hvor den minst ene åpningen er utformet for å ha en resonansfrekvens som varierer med strømningshastighet.

9. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor det første røret strekker seg inn i brønnen til et antall posisjoner ved hvilke det er ønsket å overvåke innstrømning, og hvor røret har minst én åpning plassert ved hver av posisjonene.

5

10. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor den optiske fiberen er festet til det første røret, slik at en første lengde av det første røret som omfatter den minst ene åpningen ved den første posisjonen, omfatter en seksjon av den optiske fiberen som er lengre enn den første lengden.

10

11. Fremgangsmåte ifølge krav 10, hvor den optiske fiberen er festet til det første røret, slik at den distribuerte fiberoptiske avfølingen som utføres på den optiske fiberen, har en større rommessig oppløsning i nærheten av den minst ene åpningen enn i nærheten av en seksjon av røret som er uten en åpning.

15

12. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor den optiske fiberen har et oppkveilet arrangement i det minste i nærheten av den minst ene åpningen.

20

13. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor brønnen omfatter minst en første seksjon, hvor fluid som skal transporteres i brønnen, er begrenset til å strømme via et strømningsrør og bli hindret fra å oppta den første seksjonen av brønnhullet utenfor strømningsrøret; og

25

en andre seksjon, hvor fluid som skal transporteres via brønnen, kan oppta det første røret og et område på utsiden av det første røret;

hvor det første røret strekker seg inn i den andre seksjonen og er i fluid-kommunikasjon med strømningsrøret i den første seksjonen.

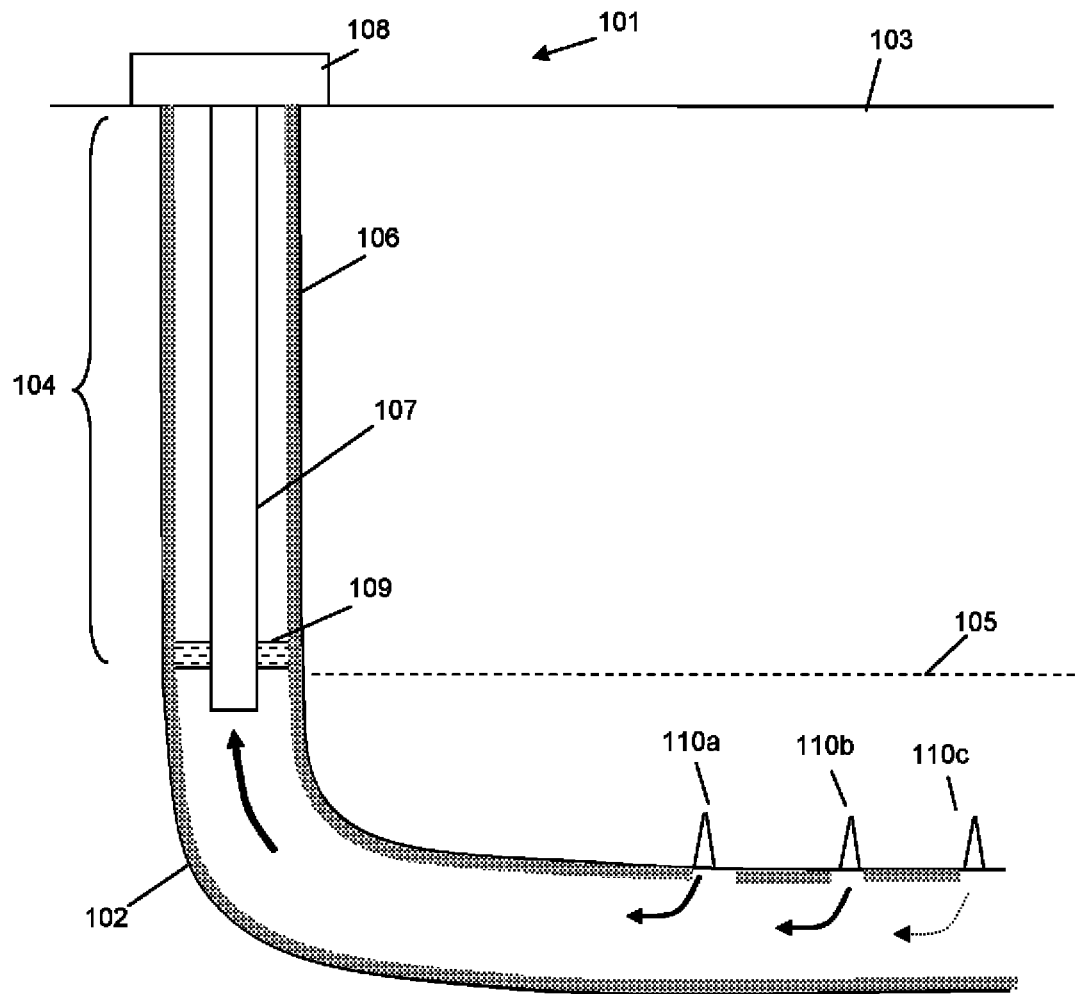
30

14. Fremgangsmåte ifølge krav 13, hvor den andre seksjonen omfatter minst én ikke-vertikal seksjon.

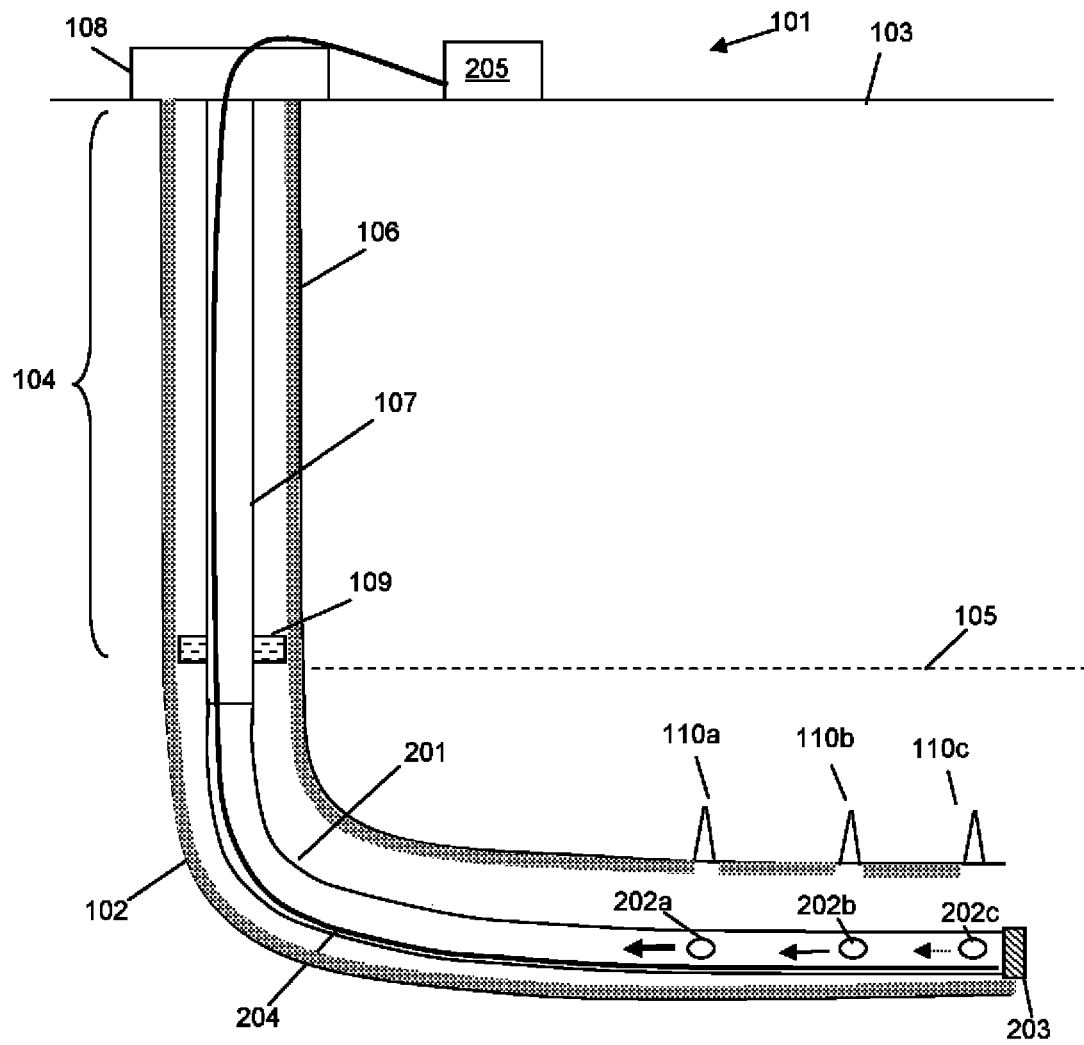
15. Fremgangsmåte ifølge krav 13 eller 14, hvor det første røret omfatter et lederør eller stinger koblet til enden av strømningsrøret.

16. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor den distale enden av det første røret i brønnen er forseglet.
- 5 17. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, hvor fremgangsmåten omfatter trinn med å utføre distribuert, akustisk avføling av den optiske fiberen.
- 10 18. Fremgangsmåte ifølge krav 17, omfattende trinn med å analysere intensiteten og/eller frekvensen til de akustiske signalene som detekteres i nærheten av den minst ene åpningen.
- 15 19. Fremgangsmåte ifølge krav 17 eller 18, omfattende trinn med å bestemme en indikasjon på strømningshastighet ved den første posisjonen fra de detekterte akustiske signalene.
- 20 20. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, omfattende trinn med å utføre distribuert temperaturavføling på den optiske fiberen.
- 25 21. Anordning for strømningsovervåking i brønner, omfattende:
et første rør utformet for, under bruk, å være koblet til strømningsrør i en brønn, hvor det første røret har minst én åpning med kjente egenskaper; og
en optisk fiber festet til det første røret og utformet slik at den optiske fiberen kan brukes til fiberoptisk avføling.
- 30 22. Anordning ifølge krav 21, hvor det første røret omfatter et lederør / stinger.
23. Anordning ifølge krav 21 eller 22, hvor den enden av det første røret som under bruk ikke er koblet til strømningsrøret, er forseglet.
24. Anordning ifølge ethvert av kravene 21 til 23, hvor den optiske fiberen er utformet for å ha en kjent orientering i forhold til den minst ene åpningen.

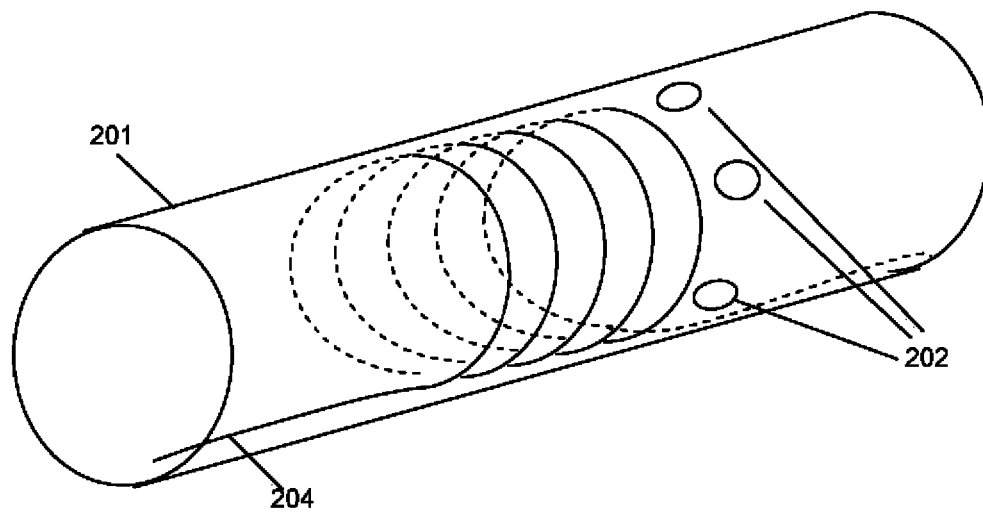
25. Anordning ifølge ethvert av kravene 21 til 24, hvor det første røret omfatter et antall åpninger med kjente egenskaper ved den første posisjonen.
- 5 26. Anordning ifølge krav 25, hvor i det minste noen blant antallet åpninger ved den første posisjonen har de samme egenskapene som en annen.
- 10 27. Anordning ifølge krav 25 eller 26, hvor i det minste noen blant antallet åpninger ved den første posisjonen har forskjellige egenskaper i forhold til en annen.
28. Anordning ifølge ethvert av kravene 21 til 27, hvor den minst ene åpningen er utformet for å tilveiebringe en karakteristikk som varierer med strømningshastighet gjennom åpningen.
- 15 29. Anordning ifølge krav 28, hvor karakteristikken som varierer med strømningshastighet, er minst én av: akustisk intensitet, akustisk frekvens og temperatur.
- 20 30. Anordning ifølge krav 28 eller 29, hvor den minst ene åpningen er utformet for å ha en resonansfrekvens som varierer med strømningshastighet.
- 25 31. Anordning ifølge ethvert av kravene 21 til 30, hvor det første røret er utplassert i en brønn koblet til et strømningsrør, og den optiske fiberen strekker seg til brønnhodet og er forbundet med en avspørringsenhet for en distribuert fiber-optisk avfølingsanordning.
32. Anordning ifølge krav 31, hvor avspørringsenheten for den distribuerte fiberoptiske avfølingen er en avspørringsenhet for en distribuert akustisk sensor.
- 30 33. Anordning ifølge krav 32, hvor avspørringsenheten for den distribuerte fiberoptiske avfølingen er en avspørringsenhet for en distribuert temperatursensor.



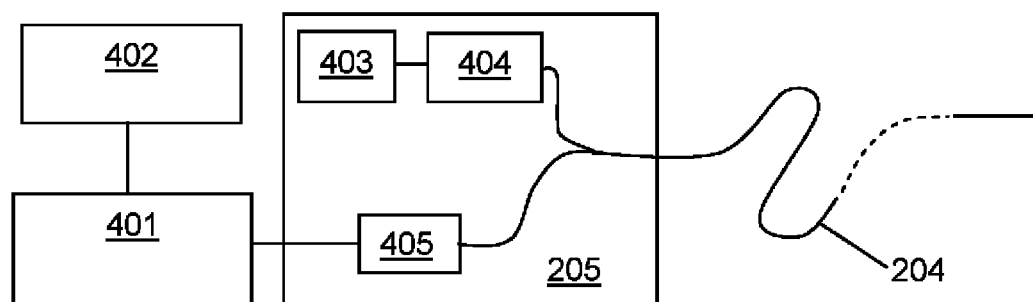
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4