



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(51) Int Cl⁷

(11) 320490

(13) B1

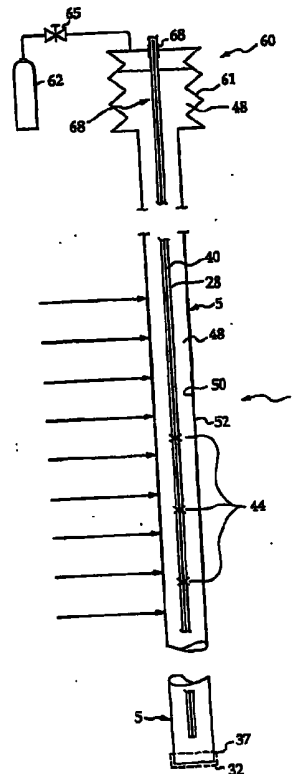
G 01 L 1/24, E 21 B 47/06, G 01H 9/00,
G 01 K1/08

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19993222	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	1997.12.19 PCT/US97/23980
(22)	Inng.dag	1999.06.29	(85)	Videreføringsdag	1999.06.29
(24)	Løpedag	1997.12.19	(30)	Prioritet	1996.12.31, US, 777271
(41)	Alm.tilgj	1999.06.29			
(45)	Meddelt	2005.12.12			
(73)	Innehaver	Weatherford/Lamb Inc , 515 Post Oak Boulevard, Suite 600, TX77027 HOUSTON, US			
(72)	Oppfinner	Robert J. Maron, Cromwell, CT, US			
(74)	Fullmektig	Zacco Norway AS , Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, NO			

- (54) Benevnelse **Anordning for å forsterke formendring i intrinsiske fiberoptiske sensorer, og innpakning av samme for strenge miljøer**
- (56) Anførte publikasjoner DE 43 37 402 A
EP 0 424 120 A
- (57) Sammendrag

Et sensorsystem for å avfeie et målestørrelsesfelt i et miljø eller omgivelser innbefatter en optisk kilde, slik som en lysemitterende diode, for å tilveiebringe et bredbåndsls til en rekke seriekoblede sensorelementer anordnet i en optisk fiber (28). Hvert sensor- element innbefatter et fibergitter (Bragg gitter) (44) som når den blir belyst, reflekterer et smalt bånd av lys som har en spesifisert sentral bølgelengde. Den optiske fiberen blir anbrakt i en hermetisk tett kapillarrørstruktur (5) med høy styrke. Inne i kapillarrøret er i det minste området hvor sensorelementene befinner seg, kapillarrøret fylt med et materiale med høy tetthet lav komprimerbarhet og høy termisk konduktivitet slik som en væske (48), som fullstendig fyller alle tomrommene i kapillarrøret mellom røret og sensorelementene slik at kompresjonskrefter som blir påtrykt den ytre overflaten til røret blir nøyaktig overført til sensorelementene.



Den foreliggende oppfinnelsen angår fiberoptiske sensorer, og mer spesielt et sensorsystem for å avføle et målestørrelsesfelt i et miljø eller omgivelser, som angitt i innledningen til patentkrav 1.

- 5 Det er nylig utviklet intrinsiske fiberoptiske sensorer hvor en fysisk målestørrelse, slik som temperatur eller trykk, modulerer lyset som blir sendt gjennom en optisk fiber. Når den fysiske parameteren påvirker den optiske fiberen, er en parameter av interesse, tillater således måling av det modulerte lyset i fiberen med et passende instrumenteringssystem måling av den fysiske parameteren av interesse. I et slikt sensorsystem er sensorho-
- 10 det intrinsisk med fiberen.

En slik type intrinsiske fiberoptiske sensorer baserer seg på at det dannes en formending i den optiske fiberen forårsaket av den fysiske målestørrelsen, slik som et tidsvarierende akustisk trykk. Slike sensorer kan være av interferometrisk natur, eller kan bygge på

15 intrakjernefiber Bragg gitter. Siden disse intrinsiske sensorene ikke krever noe tilleggsapparat på sensorpunktet foruten den optiske fiberen, gir deres lille størrelse betydelige fordeler i mange anvendelser. I noen anvendelser i et strengt eller røft miljø, kan imidlertid ikke den bare fiberen bli direkte frilagt for mediet hvori det fysiske signalet er til stede uten at den blir alvorlig ødelagt. Denne ødeleggelsen kan finne sted enten på

20 grunn av fysisk ødeleggelse under installasjon av sensoren, eller etter installasjon på grunn av virkningene av høy temperatur og trykk, tilstedeværelsen av korrosive kjemikalier og forskjellige andre faktorer. Et eksempel på en slik anvendelse er målingen av akustiske trykkfluktasjoner nede i olje- og gassbrønner.

25 I slike anvendelser i ekstremt strenge miljøer eller omgivelser i olje- og gassbrønner, har noen fiberoptiske sensorer blitt utplassert inne i luftfylte, korrosjonsresistente metallrør, noen ganger kalt kapillarrør, med liten diameter. Slike kapillarrør er lukket i nedihullsenden, og gir således en mekanisk og hermetisk sperre mellom den fiberoptiske sensoren og det strenge miljøet nede i hullet. Opp til i dag har sensorer utplassert nede i

30 brønnhullet enten vært av den typen som detekterer temperatur, eller enkeltpunkt ekstrinsiske trykksensorer som befinner seg ved nedihullsenden av en fiber. Det er hittil ikke kjent noen tidligere bruk av intrinsiske fiberoptiske sensorer for nedihullsavføling av akustiske trykkfluktasjoner, selv om denne sensortypen har blitt brukt i slepede akustiske sensorrekker i åpen sjø. Miljøet eller omgivelsene i åpen sjø er relativt godt sammenlignet med miljøet nede i brønnhullet, og fiberen kan således utplasseres med et

35 relativt mykt belegg. Slike belegg vil imidlertid ikke motstå miljøet nede i brønnhullet.

Et problem som er tilknyttet plasseringen av en intrinsik fiberoptisk akustisk sensor inne i et kapillarrør, for beskyttelse mot nedihullsmiljøet, er at det opptrer en alvorlig dempning av det akustiske signalet når dette passerer gjennom veggen til metallrøret. Denne alvorlige dempningen forhindrer detekteringen av nyttige signaler, og/eller krever utarbeidelse av høysensitivitetsinstrumenteringssystemer som er kostbare og upraktiske i kommersiell bruk. Det er derfor et behov for en intrinsik fiberoptisk sensor, som er spesielt sensitiv for å måle akustiske trykkfluktuasjoner, hvor den fiberoptiske sensoren er beskyttet mot ødeleggelse i et streng miljø, samtidig som det akustiske transmisjonstapet som er tilknyttet beskyttelsen av den fiberoptiske sensoren mot det strenge miljøet minimaliseres.

Som eksempler på kjent teknikk, kan det refereres til publikasjonene EP 0 424 120 A og DE 43 37 402 A, hvorav den første omhandler et nedihulls trykk- og temperaturmålesystem som består av et tynt rør fra overflaten og ned til måleområdet i borehullet. Det tynne røret er væskefylt og en optisk fiber går gjennom det tynne røret. Ved overflaten motas, behandles og presenteres måledataene fra den optiske fiberen.

Den andre publikasjonen beskriver en målesonde for måling av trykk- og temperaturprofiler i kjemiske prosesser i reaksjonskamre, spesielt i undrejordiske vertikale reaktorer. En første fiber og en andre fiber er plassert i et rørformet legeme. Den første fiberen benyttes som temperatursensor og den andre fiberen benyttes som trykksensor.

Det er et formål for den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe et sensorsystem for å utplassere en intrinsik fiberoptisk sensor i et strengt miljø hvor fiberen og den intrinsike fiberoptiske sensoren er beskyttet mot det strenge miljøet samtidig som det opprettholdes en høy grad av sensitivitet overfor de fysiske parameterne som den intrinsike fiberoptiske sensoren er i stand til å måle.

Et annet formål med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe en slik intrinsik fiberoptisk sensor og sensorsystem som har en høy grad av sensitivitet overfor endringer i akustisk trykk og andre formendringer i omgivelsen eller miljøet hvori sensoren er utplassert.

Et ytterligere formål med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe et slikt sensorsystem og intrinsik fiberoptisk sensor som på nøyaktig måte og hurtig reagerer på temperaturendringer i omgivelsene hvori sensoren er utplassert.

De ovennevnte formål oppnås i henhold til oppfinnelsen med et målesystem av den innledningsvis nevnte art som er kjennetegnet ved trekkene angitt i karakteristikken til patentkrav 1.

- 5 Fordelaktige utførelser av oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige patentkravene.

I henhold til den foreliggende oppfinnelsen er det tilveiebrakt et sensorsystem for å avføle et målestørrelsesfelt i et miljø eller en omgivelse, hvilket system innbefatter en optisk kilde for å tilveiebringe bredbåndsllys til en rekke av seriekoblede intrinsiske fiberop-
10 tiske sensorelementer anordnet innenfor en optisk fiber, og hvert sensorelement innbefatter et fibergitter (Bragg gitter) tilformet i en kjerne av den optiske fiberen, som når den blir opplyst reflekterer et smalt bånd av lys som har en spesifisert sentral bølgelengde, og den optiske fiberen er trygt plassert i en hermetisk avtettet kapillarrørstruktur med høy styrke og som er ugjennomtrengelig for elementer i omgivelsene, idet kapillarrøret
15 er tilformet av materialet som kan overføre temperatur, men som er bare litt komprimerbart og kan motstå en høy grad av kompresjonskrefter uten å kollapse slik at sensorsystemet kan utplasseres i et miljø hvor det er ekstremt høye temperaturer og trykk. Inne i kapillarrøret, og i det minste i området for sensorelementene, er kapillarrøret fylt med et materiale med høy tetthet og lav komprimerbarhet som fyller fullstendig alle tomrom-
20 mene inne i kapillarrøret mellom røret og sensorelementene slik at kompresjonskrefter som blir påtrykt den ytre overflaten til røret blir nøyaktig overført til sensorelementene for derved å forårsake en formendring i den optiske fiberen med et svært lavt tilknyttet tap med demping eller spredning av kompresjonskreftene inne i det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet.

25 Videre, i henhold til den foreliggende oppfinnelsen, kan det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet velges slik at materialet er høyst termisk ledende slik at temperaturen i omgivelsene hvori sensoren anvendes blir nøyaktig og hurtig overført gjennom kapillarrøret og materialet til den optiske fiberen som er inneholdt i dette.

30 Ytterligere i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen kan lavkompresjonsmaterialet med høy tetthet være en væske, slik som vann, glyserol, olje eller en annen egnet lavkomprimerbar og høyst termisk ledende væske med høy tetthet, som fullstendig fyller tomrommet mellom den indre overflaten til kapillarrøret og den ytre overflaten til den
35 optiske fiberen, i det minste i området ved sensorelementene.

Sensorsystemet i henhold til den foreliggende oppfinnelsen tilveiebringer en betydelig forbedring i forhold til kjent teknikk siden de fysiske egenskapene til omgivelsene hvori den fiberoptiske sensoren i henhold til den foreliggende oppfinnelsen er utplassert, blir nøyaktig overført fra omgivelsene gjennom kapillarrøret og materialet til de fiberoptiske sensorene som er inneholdt i dette. Derfor kan det anvendes mindre komplisert og mindre kostbart analyseutstyr for å analysere signaler tilveiebrakt av sensorene for å gi en nøyaktig representasjon av det fysiske miljøet hvori sensorsystemet i henhold til den foreliggende oppfinnelsen blir brukt. I tillegg gir systemet i henhold til den foreliggende oppfinnelsen en pålitelig beskyttelse av den optiske fiberen som er inneholdt i kapillarrøret slik at den optiske fiberen og sensorene er beskyttet fra det strenge miljøet som innbefatter korrosive kjemikalier, mekanisk støtpåvirkning og andre forhold som en optisk fiber ville bli utsatt for i et slikt miljø. En ytterligere fordel med den foreliggende oppfinnelsen kan realiseres dersom det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet som fyller de tomme rommene inne i kapillarrøret er høyst termisk ledende. Derfor blir temperaturen i omgivelsene hvori sensorene blir anvendt, nøyaktig og hurtig overført gjennom kapillarrøret og materialet til den optiske fiberen som er inneholdt i dette.

Det forutgående og andre formål, egenskaper og fordeler ved den foreliggende oppfinnelsen vil bli mer tydeliggjort i lys av den følgende detaljerte beskrivelsen av eksempelutførelser av oppfinnelsen.

Figur 1 er et skjematisk blokkdiagram over sensorsystemet i henhold til oppfinnelsen anvendt i et jordborehull til en olje- eller gassbrønn; og

Figur 2 er et mer detaljert skjematisk blokkdiagram over sensorsystemet i henhold til den foreliggende oppfinnelsen.

Sensorsystemet i henhold til den foreliggende oppfinnelsen er spesielt godt egnet for å måle dynamiske trykkfluktuasjoner slik som akustisk trykk og/eller temperatur i et ekstremt strengt miljø. Spesielt anvender den foreliggende oppfinnelsen resonante strukturer, kalt Bragg gitter, som er anordnet på multiple steder inne i en bølgelederkerne av en optisk fiber for å måle de fysiske egenskapene til et miljø hvori sensoren befinner seg.

Det refereres nå til figur 1 hvor en optisk sensorstreng 3 som innbefatter optiske sensorelementer innleiret eller tilforntet i kjernen av en optisk fiber 28 (fig. 2) er anordnet i et kapillarrør 5. Som kjent for fagkyndige på området, er fibergitter (Bragg gitter) vel eg-

net for anvendelse som avfølingselementer. Når et fibergitter blir belyst, reflekterer gitteret et smalt bånd av lys som har en spesifisert sentral bølgelengde. En målestørrelse, slik som formending induisert av trykk, vil imidlertid innføre en forstyrrelse av gittersensoravstanden på grunn av den totale fiberforlengelsen, og i brytningsindeksen til glasset på grunn av fotoelastiske effekter, hvilket sammen endrer bølgelengden til lyset som reflekteres fra gitteret. Verdien til målestørrelsen er direkte relatert til bølgelengden som reflekteres fra gitteret og kan bestemmes ved å detektere bølgelengden til det reflekterte lyset.

- 10 Som ytterligere kjent på området, har den bølgelengdekodede natur til utgangssignalet fra fibergitterne fordeler sammenlignet med den intensitetsbaserte avfølingsteknikken på grunn av selvreferansenaturen til utgangssignalet. Denne avføyte informasjonen er kodet direkte inn i bølgelengden som er en absolutt parameter og ikke avhenger av de totale lysnivåene, tap i fibrene eller koblerne, eller variasjoner i kildeintensiteten. I motsetning til dette avhenger intensitetsbaserte avfølingsmetoder av totale lysnivåer og de blir på-
- 15 virket av tap i tilkoblede fibere, av tap i koblere og av variasjoner i kildeintensiteten.

Med henvisning tilbake til figur 1 er den optiske sensorstrengen 3 og kapillarrøret 5 forbundet med optisk signalbehandlingsutstyr 10 via velkjent kapillarrørleveringsutstyr (ikke vist) for å levere eller anordne den optiske sensorstrengen 3 inne i kapillarrøret 5 ned i et borehull 12 til en olje- og/eller gassbrønn 13. Rørleveringsutstyret besørger leveransen av kapillarrøret 5 og den optiske sensorstrengen 3 ned i borehullet 12 og leveringen av optiske signaler mellom det optiske signalbehandlingsutstyret 10 og den optiske sensorstrengen 3, enten direkte eller via grensesnittutstyr (ikke vist) etter behov.

25 Det optiske signalbehandlingsutstyret 10 innbefatter som et minimum en bredbåndskilde av lys 11, slik som en lysemittende diode (LED) og passende lysfiltrerende utstyr for levering av lys til Bragg gitteret som er innbefattet i den optiske sensorstrengen 3, som beskrevet mer detaljert nedenfor. I tillegg innbefatter det optiske signalbehandlingsutstyret 10 passende optisk signalanalyseutstyr 14 for å analysere retursignalene fra Bragg gitterene. For eksempel kan signalanalyseutstyret innbefatte den nødvendige maskinvaren og programvaren for å implementere det optiske signaldiagnoseutstyret som er beskrevet i US patentene nr. 4 996 419; 5 401 956; 5 426 297 og/eller 5 493 390, hvis beskrivelser her er innlemmet som referanse.

Som vel kjent på området, er det mange forskjellige optiske signalanalysefremgangsmåter som kan anvendes for å analysere retursignaler fra fiberoptiske Bragg gitter. Disse fremgangsmåtene er generelt klassifisert i de følgende fire kategoriene:

- 5 1. Direkte spektroskopi under anvendelse av konvensjonelle spredeelementer slik som linjegitter, prismer, etc., og en lineær rekke av fotodetektorelementer eller en CCD rekke;
 2. Passiv optisk filtrering under anvendelse både av optisk eller en fiberanordning med bølgelengdeavhengig overføringsfunksjon, slik som en WDM kobler;
 - 10 3. Sporing ved bruk av et avstembart filter slik som f.eks. et Fabry-Perot skannefilter, et akusto-optisk filter slik som filteret beskrevet i det ovenfor angitte US patentet 5 493 390 eller Bragg fibergitterbaserte filtre; og
 4. Interferometrisk detektering.
- 15 Den bestemte teknikken som anvendes vil variere, og vil avhenge av Bragg bølgelengdens forskyvning (som avhenger av sensorsensitiviteten og målestørrelsens styrke) og frekvensområdet til målestørrelsen som skal detekteres.

Som det videre vil forstås av fagkyndige på området, kan det optiske signalbehandlings-
 20 utstyret arbeide etter et prinsipp med bølgedivisjon multipleks som beskrevet ovenfor hvor hver Bragg gittersensor blir brukt i et forskjellig passbånd eller frekvensbånd av interesse. Alternativt kan den foreliggende oppfinnelsen anvende tidsdivisjon multipleksing for å frembringe signaler fra multiple uavhengige sensorer, eller en annen egnet innretning for å analysere signaler som returneres fra en flerhet av Bragg gittersensorer
 25 tilformet i en fiberoptisk sensorstreng.

I eksempelet på den foreliggende oppfinnelsen blir sensoren i henhold til oppfinnelsen anvendt til å måle trykk og/eller temperatur i borehullet 12 i olje og/eller gassbrønnen 13. Inne i borehullet 12 er det føringsrørstrenger 15, produksjonsrør 18 og en produksjonspakning 20. Den optiske sensorstrengen 3 er sammenkoblet via passende optiske
 30 fibre, koblere, etc., til det optiske signalbehandlingsutstyret 10, som befinner seg over overflaten 20 til borehullet 12.

Det refereres nå til fig. 2 hvor den fiberoptiske sensoren 6 i henhold til oppfinnelsen
 35 innbefatter en optisk fiber 28 som er beskyttet mot mekanisk ødeleggelse og korrosiv ødeleggelse ved at den er plassert i det fast- eller stivveggede kapillarrøret 5. Kapillarrøret 5 kan være laget av et korrosjonsresistent materiale med høy styrke, slik som rust-

fritt stål. En fjern ende 32 av røret 5 er avtettet, f.eks. ved at det er påsveiset en ende-
te 37. Alternativt kan den fjern enden 32 til røret 5 være krympet og sveiset, eller det
kan anvendes en annen passende fremgangsmåte for hermetisk å avtette enden til røret
for å forhindre materialet fra omgivelsene hvori røret er plassert i å entre innsiden av
5 røret hvor den optiske fiberen og de fiberoptiske sensorene befinner seg.

Innenfor kjernen 40 av den optiske fiberen 28 er det tilformet en flerhet av Bragg gitter
44. Bragg gitrene 44 kan være tilformet i den optiske fiberen ved hjelp av en hvilken
som helst egnet kjent fremgangsmåte på området slik at kjernen til den optiske fiberen
10 blir skrevet med periodiske gittermønstre (dvs. en periodisk variasjon av brytningsin-
deksen) som er effektive for å reflektere bølgelengdebåndet til lys som sendes inn i kjer-
nen. I samsvar med en utførelse av oppfinnelsen er hvert Bragg gitter 44 konstruert slik
at det reflekterer en bestemt bølgelengde eller frekvens av lys som forplanter seg langs
kjernen, tilbake i retningen til lyskilden hvorfra det ble utsendt. Hver av de bestemte
15 frekvensene er forskjellig fra de andre slik at hvert Bragg gitter 44 reflekterer en unik
frekvens.

Som vel kjent på området, vil når et Bragg gitter blir utsatt for en forstørrelse, slik som
en temperaturendring eller en formendring forårsaket av trykkvariasjon, endringen i den
20 reflekterte sentrale bølgelengden til Bragg gitteret være indikativ på størrelsen til den
fysiske parameteren som Bragg gitteret er utsatt for. Derfor beror, i samsvar med den
foreliggende oppfinnelsen, Bragg gittersensorstrengen i henhold til oppfinnelsen på en
trykkfluktuasjon som påtrykkes utsiden av fiberen, gjennom kapillarrøret, for i sin tur å
generere en mekanisk formendring i fiberkjernen. I tillegg beror sensorstrengen seg på
25 en endring av brytningsindeksen, og i en mindre grad på mekanisk formendring forårsak-
ket av termisk ekspansjon/sammentrekking, som respons på temperaturendringer.

I samsvar med den foreliggende oppfinnelsen er kapillarrøret 5 fylt med et materiale 48
med høy tetthet og lav komprimerbarhet. I en utførelse av den foreliggende oppfinnel-
30 sen er materialet med høy tetthet og lav komprimerbarhet en væske, slik som vann, gly-
serol, eller olje. Det foretrekkes også at materialet med høy tetthet og lav komprimer-
barhet har en høy termisk konduktivitet, slik at temperaturvariasjoner som påtrykkes
utsiden av kapillarrøret blir hurtig og nøyaktig overført til Bragg gitrene 44 som befin-
ner seg i kjernen 40 til den optiske fiberen 28.

35 Med hjelp av materialet 48 med høy tetthet og lav komprimerbarhet som befinner seg i
alle de tomme rommene mellom den indre overflaten 50 til kapillarrøret og den ytre

overflaten til den optiske fiberen 28, vil når den ytre overflaten 52 til kapillarrøret blir utsatt for en trykkfluktusjon, slik som en akustisk trykkfluktusjon, veggen til røret gjennomgå en radial forskyvning som øker eller minsker trykket til materialet med høy tetthet og lav komprimerbarhet som fyller kapillarrøret 5. Dette trykket blir i sin tur påtrykt den optiske fiberen 28 inne i det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet, og således genereres en mekanisk formending på fiberen 28, som modulerer lyset som blir styrt gjennom Bragg gitrene 44 som befinner seg inne i fiberen 28.

Det er funnet at en sensor fremstilt i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen har svært lave akustiske transmisjonstap sammenlignet med andre anordninger innen den kjente teknikken, slik som de tidligere kjente kapillarrør fylt med en gass, enten med lavt eller høyt trykk. Fordelene med den foreliggende oppfinnelsen forstås best ved et eksempel. Den følgende analysen ble utført for to forskjellige kapillarrør som hadde en ytre diameter på 0,635 cm (1/4 tomme). Et kapillarrør (rør 1) hadde en veggykkelse på 0,119 cm (0,047 tomme) og det andre kapillarrøret (rør 2) hadde en veggykkelse på 0,061 cm (0,024 tomme). Den følgende tabellen illustrerer dempningen av et akustisk trykksignal med enhetsstyrke påtrykt den ytre overflaten av røret. Det akustiske signalet ble sendt i vann over et frekvensområde på den 50 Hz til 2 KHz:

20

TABELL 1

RØR	LUFT VED 1 ATM $1,01 \times 10^5 \text{ n/m}^2$	LUFT VED 100 ATM $1,01 \times 10^7 \text{ n/m}^2$	LUFT VED 200 ATM $2,03 \times 10^7 \text{ n/m}^2$	VANN	GLYSEROL
1	$3,5 \times 10^{-6}$ (109 dB)	$3,5 \times 10^{-4}$ (69 dB)	$7,0 \times 10^{-4}$ (63 dB)	0,006 (44 dB)	0,1 (20 dB)
2	$6,5 \times 10^{-6}$ (104 dB)	$6,3 \times 10^{-4}$ (64 dB)	$1,3 \times 10^{-3}$ (58 dB)	0,09 (21 dB)	0,2 (14 dB)

Som illustrert i tabellen ovenfor, vil for et kapillarrør ved én atmosfæres trykk, dempningen til et akustisk signal som påtrykkes den ytre overflaten av røret forårsake en dempning på omtrent 104 dB eller 109 dB på det akustiske signalet, dvs. at et akustisk signal med enhetslengde vil ha en størrelse på $6,5 \times 10^{-6}$ eller $3,5 \times 10^{-6}$ etter transmisjon gjennom det luftfylte kapillarrøret. I dette tilfellet er det nødvendig med en høyst sofistisert og høyst følsomt og nøyaktig avfølingsutstyr for på riktig måte å skille ut endring-

25

er i et utgangssignal som er forårsaket av akustiske variasjoner, hvilke kan være svært små. Dersom trykket til det luftfylte kapillarrøret blir økt til 100 eller 200 atmosfærers trykk, faller dempningen til mellom 58 dB og 69 dB. Denne dempningsreduksjonen forbedrer i betydelig grad styrken til akustiske trykksignaler som sendes til sensorene inneholdt i kapillarrøret. Ved å bruke et kapillarrør fylt med et lavkomprimerbart materiale med høy tetthet, slik som en væske i henhold til oppfinnelsen, vil det akustiske signalet bli dempet betydelig mindre, omtrent 14 dB til 44 dB. Derfor tilveiebringes i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen en svært forbedret signalstyrke til et signal som blir detektert av sensoren i henhold til oppfinnelsen. I tillegg, ved å bruke et materiale som har høy termisk konduktivitet, vil temperaturvariasjoner i omgivelsene hvori sensorene befinner seg, hurtig og nøyaktig bli overført til kjernen 40, slik at trykksignalene kan temperaturkomponeres nøyaktig.

Av eksempelet ovenfor kan det ses at det oppnås en betydelig minskning i dempningen av akustiske signaler som sendes til en optisk fiber inne i et kapillarrør ved enten å øke trykket til gassen som er inneholdt i røret eller ved å bruke et lavkomprimerbart materiale med høy tetthet, slik som et fluid, inne i røret. Denne fordelingen blir realisert på grunn av den økte tettheten til molekylene inne i røret som derved tilveiebringer forbedret transmisjon av akustiske signaler. En reduksjon i akustisk signaldempning på lite som 20 dB, hvilket kan oppnås ved å bruke en høytrykksgass inne i røret som illustrert ovenfor, vil gi en betydelig fordel ved avfølingen av akustiske signaler under visse anvendelser.

I de tidligere kjente systemene som anvender luftfylte kapillarrør, har luften en termisk konduktivitet på omtrent $0,025 \text{ w/m } ^\circ\text{k}$. I motsetning til dette vil lavkomprimerbare materialer med høy tetthet slik som olje, glyserol og vann ha termisk konduktivitet på omtrentlig henholdsvis 0,15, 0,3 og 0,35. For formål ved den foreliggende oppfinnelsen bør det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet ha en termisk konduktivitet som er større enn omtrent $0,1 \text{ w/m } ^\circ\text{k}$. Disse materialene har derfor en vesentlig forbedret termisk konduktivitet og kortere termisk tidskonstant sammenlignet med de tidligere kjente luftfylte kapillarrørene. Systemet i henhold til oppfinnelsen har derfor en betydelig kortere responstid for termiske transienter.

Selv om oppfinnelsen er beskrevet her ved at det brukes et lavkomprimerbart fluid med høy tetthet inne i kapillarrøret og som omgir den optiske fiberen som inneholder Bragg gitrene, antas det at andre materialer kan anvendes i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen, slik som lavkomprimerbare termoplastmaterialer med høy tetthet, som blir

injisert inne i røret under produksjonen og som størkner ved kjøling. Det er viktig at dersom et materiale forskjellig fra en væske blir brukt i røret i henhold til oppfinnelsen, at under herding eller tørking eller størkning av et slikt materiale, vil spenninger som er tilknyttet herdingen, ikke plassere fiberen og Bragg gittersensorene under en formending som vil maskere formendringen indusert i fiberen tilknyttet plasseringen av sensoren i miljøet som skal overvåkes.

I tillegg vil det forstås av fagkyndige på området at dersom kapillarrøret blir fylt med en væske som har høy tetthet og lav komprimerbarhet, kan væsken utvide seg når den blir utsatt for en høytemperaturomgivelse. I henhold til oppfinnelsen er overflatepartiet til røret utstyrt med et reservoar for å oppta overskuddsvæske ved væskeekspansjon, og for å tilveiebringe fluid for å opprettholde kapillarrøret fylt med fluid. Reservoiret kan f.eks. være en trykkstyrt belgstruktur 60, som illustrert på figur 2. Belgstrukturen 60 innbefatter en ekspansjonstank eller holdetank 61 for å oppta overskuddsfluid 48. I tillegg kan det være anordnet en trykkkilde 62, slik som høytrykksluft, for å holde fluidet 48 inne i belgstrukturen 60 på et spesifisert trykk, f.eks. ved at det er tilveiebrakt en trykkregulator 65 for å opprettholde et spesifisert trykk inne i holdetanken 61. Trykket inne i belgstrukturen 60 kan f.eks. styres ved anvendelse av regulatoren 65 for å holde fluidet 48 i væskefasen når det blir utsatt for høye temperaturer. Dersom trykket i belgstrukturen 60 blir regulert, er det anordnet innretninger 68 for å tillate den optiske fiberen 28 å passere gjennom belgstrukturen 60 samtidig som strukturen 60 er avtettet for å opprettholde det ønskede trykket. Som vil forstås av fagkyndige på området, er det tilveiebrakt en overskuddslengde av optisk fiber 68 for å tillate ekspansjon og sammenrekning av belgstrukturen 60 uten å ødelegge eller å påtrykke overdreven spenning på den optiske fiberen 28.

Selv om det ovenfor er beskrevet en belgstruktur for å tilveiebringe et reservoar og trykkstyring, kan enhver egnet fremgangsmåte for å holde materialet 48 inne i kapillarrøret 5 bli brukt. For eksempel kan oppfinnelsen være utstyrt med et oversvømmingsreservoar uten trykkkontroll. I tillegg, dersom et fast materiale blir brukt, slik som en polymer, er det ikke nødvendig med noen oversvømming i det hele tatt.

Oppfinnelsen er beskrevet slik at den bruker Bragg fibergitter som sensorer. Bragg gitterene er i hovedsaken beskrevet som punktsensorer. Det må imidlertid forstås at enhver egnet Bragg gittersensor konfigurasjon kan anvendes. For eksempel kan Bragg gitterne anvendes til interferometrisk detektering hvor en lengde av optisk fiber er posisjonert mellom et par Bragg gitter for derved å danne et resonans hulrom. Alternativt kan

Bragg gitrene anvendes for å danne passive (lazing) elementer for detektering, f.eks. ved å posisjonere en Erbium dopet lengde av optisk fiber mellom et par Bragg gitter. Det vil også forstås av fagkyndige på området at den foreliggende oppfinnelsen vil virke like godt med andre typer sensorer som befinner seg i kapillarrøret. Fordelene ved den fore-

5 liggende oppfinnelsen realiseres på grunn av forbedret sensitivitet for transmisjon av omgivelsestrykk og temperaturfluktuasjoner til sensorene via det lavkomprimerbare materialet med høy tetthet.

Oppfinnelsen er beskrevet som brukt med et hermetisk avtettet rør for å beskytte den

10 optiske fiberen og sensorene fra de strenge omgivelsene. Det må imidlertid forstås at andre rørkonfigurasjoner kan anvendes med den foreliggende oppfinnelsen, slik som et "U" formet rør, hvor begge endene av røret ligger over overflaten til borehullet. I tillegg må det forstås at røret kan være tilveiebrakt i enhver ønsket konfigurasjon i borehullet,

15 slik som viklet rundt borestrengen, for å plassere sensorene på et ønsket sted nede i borehullet.

P a t e n t k r a v

1.

Sensorsystem for å avføle et målestørrelsesfelt i et miljø eller omgivelser,

5 k a r a k t e r i s e r t v e d :

en kapillarrørstruktur som innbefatter en rekke seriekoblede intrinsiske fiberoptiske sensorelementer tilformet inne i en optisk fiber, hvilke sensorelementer og optiske fiber er anbrakt i et kapillarrør, og kapillarrøret er anordnet i miljøet eller omgivelsene; og

10 et materiale som fullstendig fyller alle tomrom inne i kapillarrørstrukturen mellom en indre overflate av kapillarrøret og den optiske fiberen, i det minste i et område av kapillarrøret som inneholder sensorelementene;

hvori materialet reagerer på en komprimerende kraft som utøves på en ekstern overflate av kapillarrøret i miljøet for å tilveiebringe en fluidkraft, og hvor sensorelementene reagerer på fluidkraften og et lyssignal slik at de hver tilveiebringer et avfølingslyssignal

15 som er indikerende for den komprimerende kraften.

2.

Sensorsystem i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at minst et av sensorelementene omfatter et Bragg gitter tilformet i en kjerne av den optiske fiberen.

20

3.

Sensorsystem i henhold til krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at minst et av sensorelementene omfatter et interferometer som innbefatter et respektive par av Bragg gitteret tilformet i en kjerne av den optiske fiberen og en avfølingslengde av optisk fiber posisjonert mellom de respektive parene av Bragg gitter.

25

4.

Sensorsystem i henhold til krav 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at minst et av sensorelementene omfatter et passivt (lazing) element som innbefatter et respektive par av Bragg gitter tilformet i en kjerne av den optiske fiberen og en avfølingslengde av dopet optisk fiber posisjonert mellom de respektive parene av Bragg gitteret.

30

5.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at kapillarrørstrukturen er hermetisk avtettet.

5 6.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at materialet er valgt slik at det er termisk
ledende slik at temperaturen i omgivelsene blir nøyaktig og hurtig overført gjennom
kapillarrøret og materialet til den optiske fiberen som er inneholdt i dette.

10

7.

Sensorsystem i henhold til krav 6, k a r a k t e r i s e r t v e d
at den termiske konduktiviteten til materialet er større enn 0,1 w/m °k.

15 8.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at materialet omfatter et fluid.

9.

20 Sensorsystem i henhold til krav et hvilket som helst av de forutgående kravene,
k a r a k t e r i s e r t v e d at materialet er en gass under trykk.

10.

25 Sensorsystem i henhold til krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d
at fluidet er valgt fra gruppen som består av vann, glyserol og olje.

11.

30 Sensorsystem i henhold til krav 8, 9 eller 10, k a r a k t e r i s e r t
v e d at det omfatter en reservoarinnretning for å tilveiebringe et reservoar for eks-
pansjon og kontraksjon av fluidet og for å holde fluidet på et spesifisert trykk.

12.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at materialet er en polymer.

35

13.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d en optisk kilde for å tilveiebringe lyssignalet,
idet den optiske fiberen er forbundet med den optiske kilden.

5

14.

Sensorsystem i henhold til krav 13, k a r a k t e r i s e r t v e d
at den optiske kilden omfatter en lysemitterende diode.

10 15.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at kapillarrøret er laget av et materiale med
høy styrke og som er ugiennomtrengelig for elementer i omgivelsene, hvilket kapillarrør
er tilformet av materiale som kan transmittere temperatur, men som bare i liten grad er
15 komprimerbart og kan motstå kompresjonskrefter uten å kollapse.

16.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, k a -
r a k t e r i s e r t v e d at materialet er et høytetthets, lavkompri-
20 merbart materiale.

17.

Sensorsystem i henhold til et hvilket som helst av de forutgående kravene, hvori måle-
størrelsesfeltet er akustiske trykkfluktuasjoner i miljøet.

25

18.

Sensorsystem i henhold til krav 17, k a r a k t e r i s e r t v e d
at det omfatter optisk signalbehandlingsinnretninger som reagerer på hvert av det
respektive avfølte lyssignal for å tilveiebringe akustiske trykksignaler som er indikerende
30 for variasjoner i akustisk trykk i omgivelsene inntil hvert av de respektive sensorele-
menter.

19.

Sensorsystem i henhold til krav 17 eller 18, k a r a k t e r i s e r t
35 v e d at materialet reduserer dempning av akustisk trykk avfølt gjennom kapillarrø-
ret med i det minste 20 dB sammenlignet med kapillarrøret fylt med luft ved 1 atmosfæ-
res trykk ($1,01 \times 10^5 \text{ n/m}^2$).

1/2

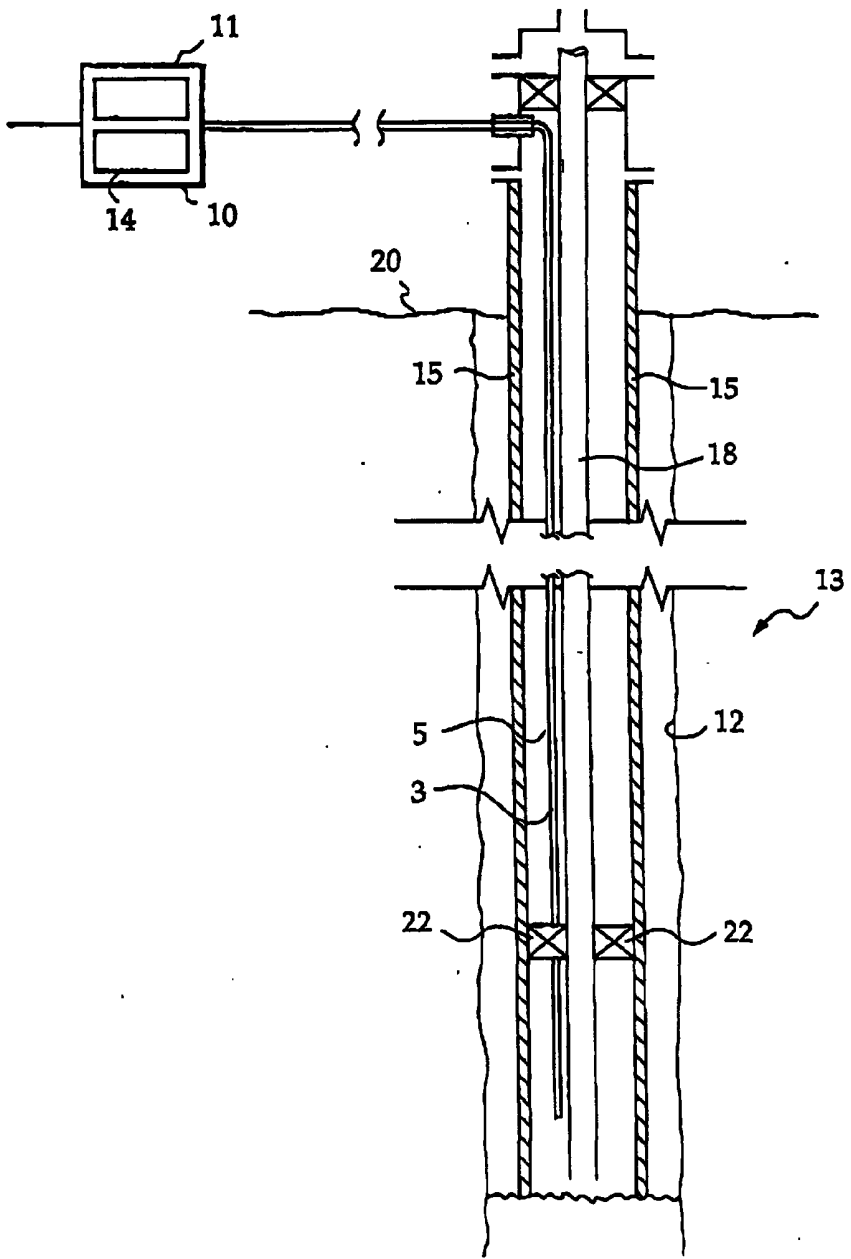


FIG. 1

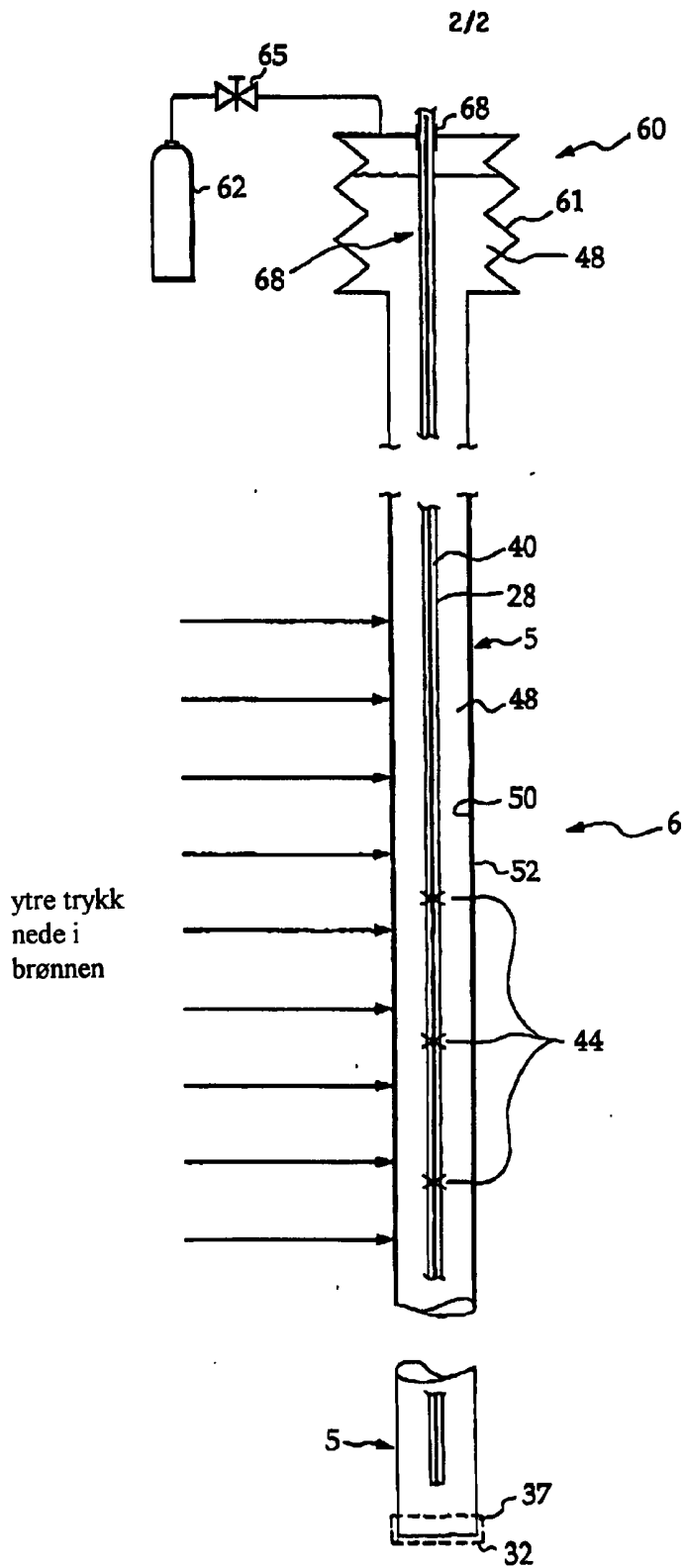


FIG. 2