



(12) PATENT

(19) NO

(11) 338703

(13) B1

NORGE

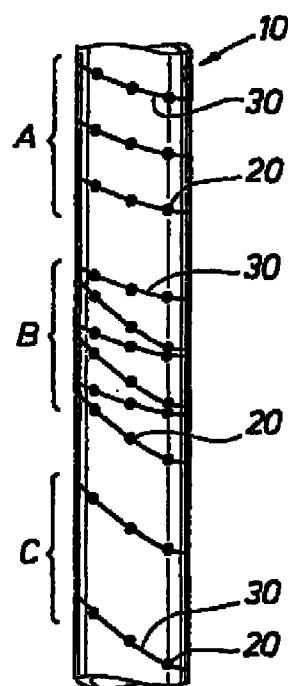
(51) Int Cl.
G01B 11/16 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20075851	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2006.04.13 PCT/US2006/013823
(22)	Inng.dag	2007.11.14	(85)	Videreføringsdag	2007.11.14
(24)	Løpedag	2006.04.13	(30)	Prioritet	2005.04.15, US, 11/107,270
(41)	Alm.tilgj	2008.01.14			
(45)	Meddelt	2016.10.03			
(73)	Innehaver	Shell Internationale Research Maatschappij BV, Carel van Bylandtlaan 30, NL-2596HR HAAG, Nederland			
(72)	Oppfinner	Frederick Henry Kreisler Rambow, 5526 Darnell, US-TX77096 HOUSTON, USA			
(74)	Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, Postboks 1570 Vika, 0118 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å anvende en strekksensor på en sylindrisk struktur
(56)	Anførte publikasjoner	DE 19913113 A1 GB 1570511 A US 6256090 B1 EP 0892244 A2
(57)	Sammendrag	

Fremgangsmåte for å bestemme en foretrukket anvendelse av flere deformeringsfølere eller følere i en struktur er beskrevet for å overvåke og avbilde deformering av strukturen når den utsettes for forskjellige krefter.



Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte for å bruke en deformeringsføler i en sylindrisk struktur for å overvåke deformering av strukturen.

Brønner i kompakterbare sedimenter (eller tektonisk aktive områder) utsettes for deformering over feltets produktive levetid. Resultatet er katastrofalt tap av produserende soner helt frem til tap av en hel brønn. Problemet forverres av de økende raske uttaksrater og komplettering av flere soner i en enkelt brønn. Et observerbart fenomen er at et første brønnforingsrør vil begynne å bøyes eller bukle ofte ved skjøter eller grensesjikt i formasjonen. Etter hvert som kompakteringen fortsetter fører bevegelsen til vesentlig feiltilpasning av brønnaksen. Resultatet kan være fullstendig tap av brønninvesteringen og føre til utsatte og/eller tapt produksjon, om ikke erstatningskostnader for en brønn, hvilket er ytterst kostbart. Muligheten til tidlig påvisning av bøyning vil kunne advare mot en senere bukling eller kollaps og gjør det mulig å endre produksjonspraksis og/eller iverksette utbedringstiltak. Påvisning av deformeringskrefter på stedet kan bli et sammensatt problem, især når slike krefter omfatter aksiale krefter, periferispenning og skjærbelastninger.

Optisk fiber som er behandlet med Fiber Bragg Gratings kan egne seg for bruk for overvåkning av kompakteringsforårsaket belastning på rørstrukturen. Fiber Bragg Gratings kan foretas ved sideveis å utsette kjernen av en enkeltodusfiber for et periodisk mønster av intenst UV-lys. Dette frembringer områder av økt brytningsindeks i fiberen. Den faste indeksmodulasjon kalles Fiber Bragg Grating (heretter "FBG"). Alle reflekterte lyssignaler samles til en stor refleksjon ved en bølgelengde når grating eller gitterperioden er lik halvparten av inngangsbølgelengde. For alle formål er gitteret transparent for andre bølgelengder av lys. Lys beveger seg følgelig gjennom gitteret med ubetydelig dempning eller signalvariasjon hvor bare Bragg-bølgelengden blir påvirket, dvs. sterkt tilbakereflektert ved hver FBG-føler. Med andre ord blir midtfrekvensen av gitteret direkte knyttet til gitterperioden som påvirkes av termiske eller mekaniske endringer i miljøet. Således kan temperatur, belastning og andre konstruksjonsparametere beregnes ved å måle den normaliserte endring i den reflekterte bølgelengde. Ved å kunne forhåndsinnstille og opprettholde gitterbølgelengden gjør FBG-følerne så anvendelige. Se "Fiber Bragg Grating" 3M US Online, 27. november 2000.

I dokumentet DE 199 13 113 A 1 beskrives anvendelse av flere optiske fibergittersensorer som er viklet rundt en sylinder med en bestemt viklingsvinkel som er relatert til vinkelen for kompensasjonsbetingelser i kontinuummekanikk under simultan lineær forlengelse og tverrgående sammentrekning av sylindren.

US patentskrift 6 854 327, som det henvises til her, beskriver bruk av bøyde i stedet for strukkede FBG-følere som endrer amplituderefleksjonen og utvider frekvensen. FBG-følerne reagerer for displasementkrefter med en predikerbar, endret

bølgelengderespons som kan sammenlignes med en kalibreringskurve for å beregne formen og størrelsen av displasementet. En utførelse er beskrevet som en spiralformet, optisk fiber hvor FBG-følere er anbrakt i bøyningene av den optiske fiber.

Det finnes følgelig et behov for å bestemme en foretrukket anvendelse av
5 deformeringsfølere for en rørstruktur for å påvise og måle store deformeringer av strukturen.

I en utførelse er det tilveiebrakt en fremgangsmåte som angitt i krav 1, for å bruke en deformeringsføler i en sylindrisk struktur for å overvåke deformering av strukturen omfattende:

10 å velge ønsket følsomhet fra den aksiale deformering i den sylindriske struktur, bestemme minst en deformeringsfaktor tilsvarende den ønskede følsomhet idet den minst ene deformeringsfaktor representerer et forhold mellom deformeringen overført til deformeringsføleren forårsaket av aksial deformering i den sylindriske struktur og den aksiale deformering i den sylindriske struktur,

15 bestemme en foretrukket omslutningsvinkel i forhold til en tenkt referanselinje som strekker seg langs en overflate av den sylindriske struktur avhengig av minst en bestemt deformeringsfaktor og

20 bruke deformeringsføleren i den sylindriske struktur tilpasset den foretrukne omslutningsvinkel for å måle deformering i retningen av den foretrukne omslutningsvinkel.

Oppfinnelsen er basert på den innsikt at ved å velge en foretrukket omslutningsvinkel, vil størrelsen av deformeringen som deformeringsføleren vil utsettes for og også tegnet på deformering (strek mot kompresjon) kan reguleres. Dette oppnår en vei til forskjellige applikasjoner som beskrevet nedenfor.

25 En foretrukket anvendelse av et deformeringsfølersystem basert på en foretrukket omslutningsvinkel, har ikke vært foreslått for søkeren. Basert på valget av omslutningsvinkelen kan bruken av deformeringsfølere, især et FBG-system, i en rørstruktur unikt tilpasses for å påvise og måle forskjellige typer og nivåer av deformering av rørstrukturen som sannsynligvis kan oppstå i et bestemt miljø. Således
30 kan deformeringen på rørstrukturen mer nøyaktig påvises på stedet og måles i sanntid. Som resultat kan deformeringen av rørstrukturen forventes om ikke unngås.

Oppfinnelsen skal beskrives nærmere i det følgende, der:

fig. 1 er et elevert riss av en sylindrisk struktur som viser flere følere eller transdusere brukt i strukturen langs tre forskjellige snitt (A, B, C) av strukturen,

35 fig. 1A er et lineært perspektiv av snittet A på fig. 1,

fig. 2 er en graf som viser bestemmelse av et foretrukket antall deformeringsfølere (N) og foretrukket antall omslutninger som kreves for å dekke en bestemt lengde,

fig. 3 er en graf som viser forholdet mellom deformeringsfaktoren (m) og forskjellige omslutningsvinkler (θ),

fig. 3A er en graf som viser forholdet mellom deformeringsfaktoren (m) og omslutningsvinkelen (θ) ifølge et bestemt Poisson-forhold (ν),

5 fig. 4 er en graf som viser forholdet mellom deformeringen (ϵ) brukt i stål og tilsvarende Poisson-forhold (ν),

fig. 5 er en graf som viser forholdet mellom lengden av følefiber og lengden av rørstrukturen versus omslutningsvinkelen (θ),

fig. 6 er en graf som viser den resulterende bølgelengderespons knyttet til D_N -nummerert deformeringsføler fra en sylindrisk struktur som gjennomgår forskyvningsskjæring i en kontrollert prøve,

fig. 7 er et riss av en sylindrisk struktur som viser skjæringskrefter på strukturen,

fig. 7A er et bilde av en bølgelengderespons som viser tilsvarende deformering målt av deformeringsfølerne på fig. 7,

fig. 8 er en graf som viser bølgelengderesponsen fra sideveiskraften tilført av vekten av et rør plottet som en bølgelengdeforskyvning ($\Delta\lambda$) versus gittertallet (D_N),

fig. 9 er en graf som viser bølgelengderesponsen fra kreftene fra en vekt opphengt fra midten av røret horisontalt opphengt i hver ende, plottet som en bølgelengdeforskyvning ($\Delta\lambda$) versus gittertallet (D_N),

fig. 10 er et riss av en sylindrisk struktur som viser bøyningskrefter på strukturen,

fig. 10A er et bilde av en bølgelengderespons som viser tilsvarende deformering målt av deformeringsfølerne på fig. 10.

fig. 11 er en graf som viser bølgelengderesponsen fra bruken av en knusekraft tilført nær midten av røret på fig. 8, plottet som bølgelengdeforskyvning ($\Delta\lambda$) versus gittertallet (D_N),

fig. 12 er en graf som viser bølgelengderesponsen for røret på fig. 11 plottet som bølgelengdeforskyvning ($\Delta\lambda$) versus gittertallet (D_N), der klemmene nær midten av røret har blitt dreiet 90 grader,

fig. 13 er et riss av en sylindrisk struktur som viser knuse- eller ovaliseringskrefter på strukturen,

fig. 13A er et bilde av en bølgelengderespons som viser tilsvarende bølgelengde målt av bølgelengdemålerne på fig. 13,

fig. 13B er et toppriss av fig. 13,

fig. 14 er et plott som viser den relative deformeringsamplitude (W_A) som funksjon av asimetrvinkelen (ϕ) i grader rundt en rørstruktur,

fig. 15 er en graf som viser deformeringsfaktoren (m) og nm-forskyvningen versus omslutningsvinkelen (θ) for et strukturmateriale som gjennomgår plastisk deformering,

fig. 16 er en graf som viser bølgelengdeforskyvningen ($\Delta\lambda$) plottet versus gittertallet (D_N) for forskjellige nivåer av tilført aksial deformering,

fig. 17 er en graf som sammenligner den gjennomsnittlige effektverdi (rms)-bølgelengderespons med beregnet eller forventet bølgelengderespons, plottet som bølgelengdeforskyvning $\Delta\lambda$ (nm) versus den aksiale deformering som tilføres ϵ_A (%),

fig. 18 er en graf som viser gjennomsnittlig bølgelengdeforskyvning $\Delta\lambda$ (faktisk) over de brukte deformeringsfølere ved hvert nivå av tilført aksial deformering ϵ_A (%), sammenlignet med den beregnede bølgelengdeforskyvning,

fig. 19 er en graf som viser bølgelengdeforskyvning $\Delta\lambda$ (nm) versus gittertallet (D_N) og viser en aksial styrke på omtrent null,

fig. 20 er en graf av bølgelengdeforskyvning $\Delta\lambda$ (nm) versus gittertallet (D_N) som viser tilført aksial deformering på 0,25 %,

fig. 21 er en graf av bølgelengdeforskyvning $\Delta\lambda$ (nm) versus gittertallet (D_N) og viser tilført aksial deformering på 0,75 %,

fig. 22 er et riss av en sylindrisk struktur som viser kompresjonskrefter på strukturen,

fig. 22A er et bilde av en bølgelengderespons som viser tilsvarende deformering målt av deformeringsfølerne på fig. 22,

fig. 23 er en teoretisk plott av delta deformering $\Delta\epsilon$ versus avstand (d) langs en linje over et reservoar.

Gjenstanden ifølge oppfinnelsen er beskrevet spesifikt, men beskrivelsen i seg selv er ikke ment å begrense oppfinnelsens omfang. Den krevde gjenstand kan således omfattes på forskjellige måte med forskjellige trinn eller kombinasjoner av trinn tilsvarende de som er beskrevet her i forbindelse med andre nåværende eller fremtidige teknologier. Selv om uttrykket "trinn" kan brukes her for å benevne forskjellige fremgangsmåter som brukes, skal uttrykket videre ikke forstås å innebære en bestemt rekkefølge blant eller mellom de forskjellige trinn som er beskrevet her, unntatt når rekkefølgen av de enkelte trinn er uttrykkelig beskrevet.

Den følgende beskrivelse gjelder bruk av deformeringsfølere i form av flere transdusere som kan omfatte en eller flere konvensjonelle FBG-følere som f.eks. transdusere beskrevet i US patentskrift 5 798 521, 6 426 496 eller 6 854 327. Eventuelt kan FBG-følere være

i) spesifikt behandlet (korttidsvarmet) som beskrevet i "Characteristics of short-period blazed FBG sensors for use as macro-bending sensors", APPLIED OPTICS, 41, 631-636 (2002), Baek, S., *et al.*; og/eller

ii) bøyet som beskrevet i "Long-Period Fiber Grating Bending Sensors in Laminated Composite Structures", SPIE Conference on Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials, March 1998, San Diego, Calif., SPIE Vol. 3330, 284-292, Du, W., *et al.*; og/eller

5 iii) belagt som beskrevet i "Ultrastrong Fiber Gratings and Their Applications", SPIE Conference Phototonics East "Optical Fiber Reliability and Testing", 3848-26, Sep. 20, 1999, Starodubov, D. S., *et al.*

Oppfinnelsen er imidlertid ikke begrenset til bruk av FBG-følere og kan implementeres med konvensjonelle følere eller transdusere som kan påvise aksial
10 og/eller radial deformering, f.eks. deformeringsmålere som beskrevet i "Strain Gauge Technology," A. L. Window (Editor), Elsevier Science Pub. Co., 2nd edition, november 1992. Således kan de nye teknikker og fremgangsmåter beskrevet her implementeres og brukes ved bruk av enhver type deformeringsføler eller transduser som kan påvise signaler og overføre signaler uansett om det er en FBG-føler, deformeringsmåler eller
15 annen konvensjonell type måler eller transduser. Videre utelukker bruken av en optisk fiber som overføringsanordning for å vise de forskjellige applikasjoner av oppfinnelsen beskrevet her, ikke bruk av andre kjente overføringsanordninger som kan brukes for å kople transduserne sammen, f.eks. elektriske ledninger som kan overføre effekt og signal. Videre kan konvensjonelle trådløse transdusere brukes forutsatt at de omfatter
20 en kraftkilde.

På fig. 1 er det vist et riss av en sylindrisk struktur 10, f.eks. en rørstruktur (f.eks. borerør) eller foringsrør som vist med flere FBG-følere 20 brukt i strukturen 10 på en fiber 30 i forskjellige foretrukkede omslutningsvinkler i seksjonene A, B og C. Fig. 1A er et lineært perspektivriiss av seksjonen A på fig. 1 og viser fiberen 30 viklet
25 rundt røret 10 i en foretrukket omslutningsvinkel vist av θ_1 eller θ_2 . Den foretrukne omslutningsvinkel kan måles i forhold til en første, tenkt referanselinje 40 som strekker seg langsgående langs en overflate av strukturen 10. Alternativt kan den foretrukne omslutningsvinkel måles i forhold til en andre, tenkt referanselinje 50 som omslutter strukturen 10 som også representerer periferien (C) på fig. 1A. For beskrivelsen blir
30 imidlertid omslutningsvinkelen θ og den foretrukne omslutningsvinkel θ_1 definert i forhold til den andre, tenkte referanselinje 50 og er vist ved θ_1 . Uansett kan θ_2 brukes i stedet ved ganske enkelt å erstatte $\pi/2-\theta_2$ for θ_1 eller beregne θ_1 basert på θ_2 som $\theta_1=90^\circ-\theta_2$.

På fig. 1A er lengden av en omslutning av fiberen 30 rundt strukturen 10 vist
35 som S. Avstanden langs den første, tenkte linje 40 som kan være den vertikale avstand mellom hver omvikling av fiberen 30, er vist som L. Forholdet mellom θ_1 , L, X, S og C er vist av: $L=S*\sin(\theta_1)$ og $C=S*\cos(\theta_1)$. I denne transformerte geometri representerer S hypotenusen av en rett vinkel formet av L, C og S.

Den aksiale deformering langs strukturaksen 10 forårsaket av kompakteringen kan vises som $\epsilon = \Delta L / L$. Aksial deformering langs strukturaksen 10 forårsaket av kompaktering kan translateres til deformering i deformeringsføleren 20 og vist som $\epsilon_f = \Delta S / S$ som kan manifestere seg i deformeringsføleren 20 som aksial belastning, 5 periferibelastning og/eller skjærbelastning. Forholdet mellom deformeringen (ϵ_f) i deformeringsføleren 20 og dens bølgelengdrespons blir følgelig representert av:

$$\Delta\lambda = \lambda(1 - P_e)K\epsilon_f$$

10 hvor $\Delta\lambda$ representerer en deformeringsfølers bølgelengdeforskyvning på grunn av deformering (ϵ_f) på deformeringsføleren 20 og λ representerer den gjennomsnittlige bølgelengde av deformeringsføleren 20. Bindingskoeffisienten av deformeringsføleren 20 til et substrat eller et system som deformeringen skal måles på, er vist ved K.

En "kombinert" respons for bøyning (også bukling, skjæring) og aksial deformering kan vises ved:

15

$$\Delta\lambda = \lambda(1 - P_e) \cdot K \cdot \left(-1 + \sqrt{\sin^2 \theta \cdot \left(1 - \left(\epsilon - \frac{r \cos \phi}{R}\right)\right)^2 + \cos^2 \theta \cdot \left(1 + \nu\left(\epsilon - \frac{r \cos \phi}{R}\right)\right)^2} \right)$$

der $\Delta\lambda$ er bølgelengdeforskyvningen målt på et gitt gitter og λ er den opprinnelige bølgelengde av gitteret som nominelt kan være 1560 nanometer. Uttrykket $(1 - P_e)$ er en fiberrespons som nominelt er 0,8. Bindingskoeffisienten K kan typisk være 0,9 eller 20 mer. Omslutningsvinkelen (eller orienteringsvinkelen av føleren) i forhold til den første, tenkte akse av røret er vist ved θ . Den aksiale deformering ϵ på røret kan være fra kompaktering eller annen ekstern kilde. Rørets eller den sylindriske strukturs radius er vist ved r og ϕ er en vilkårlig asimutvinkel i forhold til en referanse langs aksen av røret som gjør det mulig å orientere retningen av buklingen eller bøyningen i forhold til 25 denne. R representerer bøyningradiusen av buklingen eller bøyningen i røret. Når bøyningradiusen blir svært stor (rett ubøyet rør), vil denne del av signalet forsvinne. Poisson-forholdet ν av strukturen kan endres med deformeringen. Et uavhengig mål kan brukes for å hente verdien av ν . Dette kan løses ved å bruke to omslutningsvinkler samtidig.

30

For enkelthets skyld i nedenstående eksempler, forutsettes bindingskoeffisienten (K) å være konstant. P_e representerer deformerings- og temperatureffekten på brytningsindeksen av deformeringsføleren 20. P_e kan være en funksjon av deformering og temperatur, herunder moment på deformeringsføleren 20, men blir oversett i de følgende eksempler. Siden det er kjent at temperaturvariasjoner 35 kan forårsake en ekstra deformering på fiberen 30, deformeringsfølerne 20 og strukturen 20 som påvirker brytningsindeksen i fiberen 30, kan temperaturvariasjoner anses å være uavhengig for beregning av deformeringsmålinger. Dette kan lett utføres

enten ved en egen temperaturmåling som kan utføres med mekanisk avkopling av korte lengder av fiberen 30 fra strukturen 10 og bruke en egen men tilsvarende fiber som helt er avkoplet mekanisk fra strukturen 10 eller på annen måte for måling av temperatur nær strukturen 10 som gjennomgår deformeringsmålingen.

5 Foregående egenskaper kan brukes for å knytte deformeringen (ϵ_f) i deformeringsmåleren 20 til den aksiale kompakteringsdeformering (ϵ) i strukturen 10. Deformeringen (ϵ_f) i deformeringsføleren 20 kan knyttes til den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) og deformeringen (ϵ) langs aksen av strukturen 10 ved:

$$10 \quad \frac{\Delta S}{S} = -1 + \sqrt{\sin(\theta_1)^2 * (1 - \epsilon)^2 + \cos(\theta_1)^2 * (1 + \nu \epsilon)^2}$$

Poisson-forholdet (ν) er en viktig egenskap ved strukturen 10 som er knyttet til deformeringen (ϵ) og som strukturen 10 kan oppleve som vist i nedenstående eksempler.

15 Deformeringsfaktoren som knytter den aksiale deformering (ϵ) i strukturen 10 til deformeringen (ϵ_f) overført til deformeringsføleren 20, er vist ved:

$$m = \frac{-1 + \sqrt{\sin(\theta_1)^2 * (1 - \epsilon)^2 + \cos(\theta_1)^2 * (1 + \nu \epsilon)^2}}{\epsilon}$$

som kan også translateres til:

$$20 \quad \Delta S / S = m * \Delta L / L = m * \epsilon$$

Sammenligning mellom deformeringsfaktoren (m) og de andre variablene viser at den er svært følsom for den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1), noe følsom for Poisson-forholdet (ν) og ganske ufølsom for den tilførte, aksiale deformering (ϵ).

25 Bruk av følerne

De viktigste kravene for følsomhet og oppløsning er et tilstrekkelig antall følere 20 anbrakt rundt periferien (C) av strukturen 10 og tilstrekkelig vertikalt mellomrom mellom følerne 20, slik at et sinusformet mønster i forbindelse med en bøyning, bukling, skjæring eller knusing (ovalisering) tydelige kan påvises og avbildes. 30 Som vist av forholdet nedenfor, er følsomhet for aksial deformering av radial deformering og følgelig bøyingsdeformering også en funksjon av den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1).

Fortrinnsvis kan minst ti deformeringsfølere 20 per vikling av fiberen 30 brukes for tilstrekkelig fangning av en syklus av sinussignalet produsert ved 35 deformeringen av strukturen 10. Det er også ønskelig å ha minst åtte til ti omdreininger eller omslutninger av fiberen 30 som dekker den vertikale avstand av strukturen 10

over hvilken deformeringen forventes å oppstå. Færre deformeringsfølere 20 vil redusere oppløsningen og evnen til på en utvilsom måte å skille mellom bøyning, bukling, skjæring eller knusing. Når det gjelder den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) og diameteren (D) (i tommer) av strukturen 10, er lengden av strukturen 10 (i fot) som
 5 dekkes av hver omslutning vist som:

$$L_1 = \frac{\pi * D * \tan(\theta_1)}{12}$$

For å oppnå lengden i fot må lengden i meter divideres med 0,30. For å oppnå diameteren i tommer må diameteren i centimeter divideres med 2,54.

10 Når det gjelder den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) og diameteren (D) (i tommer) av strukturen 10, blir lengden av en omslutning rundt strukturen 10 (i fot) representert som:

$$S_1 = \frac{\pi * D * \cos(\theta_1)}{12}$$

15 Den totale lengde av fiberen 30 (i fot) basert på et foretrukket antall omslutninger (N_w) rundt strukturen 10 og lengden av en omslutning (S_1) rundt strukturen 10 (i fot) er vist som:

$$S = S_1 * N_w$$

20 Den aksiale lengde av fiberen 30 (i fot) langs strukturen 10 er basert på et foretrukket antall omslutninger (N_w) rundt strukturen 10 og lengden av strukturen 10 (i fot) dekket mellom hver omslutning er vist som:

$$Z = L_1 * N_w$$

25 Således kan det foretrukne antall omslutninger (N_w) rundt strukturen 10 bestemmes av den aksiale lengde (Z) av strukturen 10 omviklet i fiberen 30 dividert med lengden (L_1) av strukturen 10 dekket mellom hver omvikling av fiberen 30. I tillegg til den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1), kan det foretrukne antall omslutninger (N_w) brukes for å bestemme en foretrukket anvendelse av fiberen 30 og
 30 deformeringsfølerne 20 i strukturen 10.

Omslutningsføleravstanden kan være så kort som 1 centimeter eller så lang som nødvendig for å oppta et rimelig antall deformeringsfølere 20 per omslutning av fiberen 30 på en struktur 10 med en stor diameter. Det totale antall deformeringsfølere 20 per omslutning av fiberen 30 som funksjon av deformeringsføleravstanden (S_g) (i
 35 centimeter) og omslutningslengden (S_1) er representert som:

$$n = \frac{2,54 * S_1 * 12}{S_g} = \frac{2,54 * \pi * D * \cos(\theta_1)}{S_g}$$

Forutsatt at alle deformeringsfølerne 20 på fiberen 30 er innenfor den omviklede del av fiberen 30, kan det totale antall deformeringsfølere 20 på fiberen 30 representeres som:

5

$$n = \frac{2,54 * S_1 * 12}{S_g} = \frac{2,54 * N_w * \pi * D * \cos(\theta_1)}{S_g}$$

Tilsvarende kan den foretrukne deformeringsføleravstand (S_g) lett bestemmes med et kjent, foretrukket antall deformeringsfølere (N) og en foretrukket, total lengde (S) av fiberen 30.

10 Grovt sett kan det maksimale antall deformeringsfølere 20 som kan brukes i en fiber 30 med denne teknikk være omtrent 1000. Således kan den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1), det foretrukne antallet omslutninger (N_w) og det foretrukne antall deformeringsfølere (N) brukes for å bestemme en foretrukket anvendelse av fiberen 30 og deformeringsfølere 20 i strukturen 10.

15 Ved å bruke ligningene ovenfor, kan plotter, f.eks. som vist på fig. 2, samles og brukes for å bestemme det foretrukne antall deformeringsfølere (N) og det foretrukne antall omviklinger (N_w) som trengs for å dekke en bestemt lengde og diameter av strukturen 10 og den foretrukne deformeringsføleravstand (S_g). På den venstre akse er lengden av fiberen plottet (S i enheter på 0,3 meter, tilsvarende antall fot), den aksiale
20 lengde (Z i enheter på 0,3 meter, tilsvarende antall fot) av strukturen 10 viklet i fiberen 30 og det totale antall (N) av deformeringsfølere i form av gitre som kan sammenlignes med et omslutningsvinkelområde for et bestemt antall omslutninger (N_w) og en bestemt deformeringsføleravstand (S_g). På den høyre akse er det totale antall gitre per omslutning (N) og den aksiale lengde (L_1 i enheter på 0,3 meter, tilsvarende antall fot)
25 plottet i strukturen dekket mellom hver omslutning som kan sammenlignes med et omslutningsvinkel (θ)-område for en bestemt deformeringsføleravstand (S_g) og et foretrukket antall omslutninger (N_w). På fig. 2 plotter linje 1 lengden av strukturen Z mot omslutningsvinkelen (θ) for et tilfelle hvorved $D = 15$ cm (6,0 tommer), linje 2 plotter lengden av fiberen (S) for et tilfelle hvor antall omslutninger (N_w) = 100, linje 3
30 plotter antallet gitre med en avstand (S) på 5,0 mm, linje 4 plotter antallet gitre per omslutning og linje 5 plotter lengden av strukturen Z mot omslutningsvinkelen (θ_1) per omslutning.

På fig. 2 er $D = 152$ mm (6 tommer), $N_w = 100$ og $S_g = 5$ mm. Figuren viser at omslutningsvinkler mellom 20 og 40 grader forsøker å optimere oppløsningen ved å
35 vurdere lengden av fiberen (S) og lengden av strukturen (Z) som overvåkes. Denne

informasjon kan brukes med deformeringsfaktoren (m) for å konstruere en foretrukket anvendelse av fiberen 30 for strukturen 10.

Fig. 3 viser forholdet mellom deformeringsfaktoren (m) og omslutningsvinkelen θ . Et bestemt Poisson-forhold (ν) på 0,5 ble valgt basert på observasjonen av stålrørsytelsen etter deformering ved høye kompakteringsdeformeringer. En bestemt deformering (ϵ) på 5,0 prosent ble valgt basert på den maksimalt forventede deformering som strukturen opplever.

Basert på disse strukturelle parametre ($P(\nu)$, (ϵ)), kan deformeringsfaktoren (m) bestemmes for hver omslutningsvinkel vist på fig. 3. Resultatene på fig. 3 viser at deformeringen av hver deformeringsføler kan minskes eller til og med reverseres (kompresjon mot strekk) ved nøye valg av den foretrukne omslutningsvinkel ($\theta = \theta_1$).

Evnen til lett å kunne regulere størrelsen av deformeringen som fiberen og hver deformeringsføler vil utsettes for og også tegnet på deformering (strekk versus komprimering) er svært viktig. De fleste vanlige fiberfølere fremstilt av glass kan utsettes ikke for mer enn en eller to prosent deformering (i strekk) før skade eller svikt oppstår. Kompresjonsdeformering i fiberfølere fremstilt av glass er enda mer problematisk. Således kan høy aksial kompresjonsdeformering på rørstrukturer i kompakteringsmiljøer konverteres til en mild ekstensjonal deformering i fiberføleren ved ganske enkelt å justere omslutningsvinkelen. Samme prinsipp kan brukes for å omberegne størrelsen av deformeringen eller andre konvensjonelle følersystemer som kan brukes.

På fig. 3A er deformeringsfaktoren (m) vist for hver omslutningsvinkel θ ifølge et bestemt Poisson-forhold (ν) på 0,3 og en bestemt deformering (ϵ) på 0,1 prosent for den analyserte struktur. Disse forhold kan tilsvare anvendelser hvor mild kompaktering kan forventes. For god følsomhet for mild kompakteringsdeformering (kompresjonal) og utmerket følsomhet for sidedeformeringer, kan det være fordelaktig, basert på fig. 3A, å velge en foretrukket omslutningsvinkel i størrelsesorden 20 grader.

Fig. 3 og 3A viser at deformeringsfaktoren (m) ved en omslutningsvinkel på null grader er lik Poisson-forholdet (ν). Med andre ord blir kompresjonsdeformeringen (ϵ) på strukturen translaterert til en aksial ekspansjon definert av Poisson-forholdet (ν). I mangel av ingen omslutning (vertikal anvendelse langs foringsrør eller en 90-graders omslutningsvinkel), kan likeledes forlengelsen eller kompresjonen av strukturen måles direkte. Sistnevnte har den ulempe ved høye kompresjonsdeformeringer at fiberen og/eller deformeringsfølerne sannsynligvis vil bli skadet og/eller utsettes for bukling og mekanisk frakopling fra strukturen. For milde ekstensjonelle deformeringer som ofte ses i et overdekkende lag, er det best å bruke 90 eller nesten 90 grader, f.eks. mellom 80 og 90 grader (tilsvarende den aksiale anvendelse eller nær aksiale anvendelse).

Fig. 4 viser Poisson-forholdet (ν) for stål versus deformering. For stål som opptrer elastisk, er det nominelle Poisson-forholdet nær 0,3. Det har blitt observert at

Poisson-forholdet (ν) av rørstrukturer som gjennomgår høye kompakteringsdeformeringer (utenfor elastisitetsgrensen) er bedre tilnærmet ved 0,5. Dette er en teoretisk grense for konservering av volum. Poisson-forholdet (ν) kan
 5 følgelig bestemmes i samsvar med den forventede eller maksimale deformering av strukturen men kan imidlertid være mellom omtrent 0,3 og omtrent 0,5 for rørstål strukturer. Som en generell regel kan Poisson-forholdet (ν) approksimeres ved 0,5 hvis den bestemte deformering er minst 0,3 % eller mer i en rørstål struktur.

Prinsippene vist på fig. 3 og 3A kan brukes for å bestemme den foretrukne anvendelse av deformeringsfølere 20 i den vesentlig sylindriske struktur 10 på fig. 1A
 10 for å overvåke deformering av strukturen i forskjellige formasjonsmiljøer. Ifølge en fremgangsmåte kan et foretrukket omslutningsvinkelområde (f.eks. mellom 0 og 90 grader) velges for å bestemme den relative deformeringsfaktor (m) tilknyttet hver omslutningsvinkel i det foretrukne omslutningsvinkelområdet. Et bredt omslutningsvinkelområde mellom 0 og 90 grader kan være foretrukket, men smalere
 15 områder kan imidlertid velges. Deformeringsfaktoren (m) bør bestemmes for minst en omslutningsvinkel innenfor det foretrukne omslutningsvinkelområdet. Det foretrukne omslutningsvinkelområdet (θ_1) innenfor det foretrukne omslutningsvinkelområdet kan bestemmes basert på minst en bestemt deformeringsfaktor (m) og brukes for å bestemme den foretrukne anvendelse av deformeringsfølerne 20 i strukturen 10 på fig.
 20 1A. Som vist på fig. 2 kan et antall andre variabler, herunder det foretrukne antall deformeringsfølere (N) og det foretrukne antall omslutninger (N_w) også vurderes for å bestemme den foretrukne anvendelse av deformeringsfølere 20 i strukturen 10 basert på kravene til følsomhet og oppløsning.

Bestemmelse av den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) i det foretrukne
 25 omslutningsvinkelområdet kan alternativt være basert på et foretrukket deformeringsfaktorområde som omfatter flere deformeringsfaktorer bestemt på ovennevnte måte. Den bestemte deformeringsfaktor eller det bestemte deformeringsfaktorområde kan velges for å bestemme den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) innenfor det foretrukne omslutningsvinkelområdet basert på en
 30 maksimal deformering som deformeringsføleren 20 og/eller fiberen 30 kan motstå. Hvis en annen overføringsanordning enn fiberen 30 blir brukt, eller hvis det brukes trådløse transdusere, kan den bestemte deformeringsfaktor eller bestemte deformeringsfaktorområde bli brukt for å bestemme den foretrukne omslutningsvinkel (θ_1) innenfor det foretrukne omslutningsvinkelområdet basert på en maksimal
 35 deformering som den alternative overføringsanordning og/eller transduserne eller trådløse transdusere, kan motstå.

På fig. 3 viser f.eks. det bestemte Poisson-forholdet (ν) og forventede, aksiale deformering (ϵ) et behov for følsomhet for høye kompakteringsdeformeringer. Forutsatt at deformeringsfølerne og/eller fibrene er begrenset til omtrent 2 prosent

deforming før svikt, kan omslutningsvinkelen ved hvilken deformeringsfølerne og/eller fiberen svikter ved 5 prosent forventet deforming av strukturen bli bestemt ved å dividere den maksimale deforming som deformeringsføleren og/eller fiberen kan motstå (0,02) med den forventede deforming (0,05), hvilket viser en
 5 deformeringsfaktor (0,4) som tilsvarer en omslutningsvinkel på omtrent 15 grader. Følgelig kreves en omslutningsvinkel større enn omtrent 15 grader for å hindre skade på deformeringsfølerne og/eller fiberen og fortrinnsvis omtrent 30 grader. En omslutningsvinkel som er større enn omtrent 35 grader, hvor deformeringsfaktoren er null, kan produsere uønsket komprimering og bukling i fiberen og/eller
 10 deformeringsfølerne.

Etter at en foretrukket anvendelse av deformeringsfølerne har blitt bestemt, kan disse brukes i strukturen 10 sammen med en foretrukket anvendelsesledning representert av fiberen 30 på fig. 1A. Den foretrukne omslutningsvinkel kan formes mellom den foretrukne anvendelsesledning og den første, tenkte referanseledning 40 i
 15 den andre, tenkte referanseledning 50.

Deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 kan brukes på en ytterflate av strukturen 10 (som vist på fig. 1) en innerflate av strukturen 10, en kanal i strukturen 10 eller som en integrert komponent av strukturen 10 under forming eller fremstilling av den. Når rørstrukturen 10 omfatter en sikt med flere siktkomponenter, herunder en sandsikt, kan
 20 deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 brukes på en innerflate og/eller ytterflate av en av de flere siktkomponentene eller en kanal i en eller flere av siktkomponentene eller mellom to av komponentlagene. I tillegg kan deformeringsfølerne 20 og 34 brukes på en ytterflate av en av de flere siktkomponenter og innerflaten av en annen av de en eller flere siktkomponenter.

Videre kan deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 brukes i strukturen 10 i en beskyttende kappe og/eller en beskyttende plate som dekker deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 forutsatt at det beskyttende belegg kan overføre spenning eller en deforming fra strukturen 10 til deformeringsfølerne 20. Akseptable, beskyttende belegg kan f.eks. omfatte et metall, en polymer, en elastomer, et komposittmateriale
 30 eller et tynt rør som omfatter et eller flere av disse materialene som er fleksible men likevel i stand til å kunne brukes i strukturen 10 for å kople deforming opplevd av strukturen 10 til deformeringsfølerne 20. Når strukturen 10 må kjøres i et borehull, kan deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 brukes før strukturen 10 blir kjørt i borehullet.

Alternativt kan deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 brukes i strukturen 10 etter
 35 at den blir kjørt i borehullet ved hjelp av et ledningsrør eller brukes i eller utenfor overflaten av strukturen 10 etter at strukturen 10 har blitt kjørt i borehullet. Et konvensjonelt ledningsrør som kan koples til strukturen 10 er akseptabelt. Akseptabelt materiale for ledningsrøret kan f.eks. omfatte et metall, en polymer, en elastomer, et komposittmateriale eller et tynt rør som omfatter et eller flere av disse materialene som

er fleksible men likevel i stand til å kunne brukes i strukturen 10 på en slik måte at det kopler deformeringen opplevd av strukturen 10 til deformeringsfølerne 20.

Deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 kan innføres i en åpning i ledningsrøret og anbringes deri med et fluid som kan feste deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 i ledningsrøret og overføre deformeringen på strukturen 10 til hver deformeringsføler 20. Fluidet kan f.eks. omfatte en passende polymer, polymerløsning, polymerforløper eller epoksy. Fluidet kan også brukes for å føre deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 gjennom ledningsrøret. Alternativt kan deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 anbringes i ledningsrøret med fluidet ved å bruke kraft på en eller begge ender av fiberen 30 for å skyve og/eller trekke denne gjennom ledningsrøret. F.eks. kan et vektet objekt festes til den fremre ende av fiberen 30 for å drive (trekke) fiberen 30 og deformeringsfølerne 20 gjennom ledningsrøret. Ledningsrøret kan anbringes i strukturen 10 langs den foretrukne anvendelsesledning eller på strukturen 10 langs den foretrukne anvendelsesledning. I alle tilfelle kan den foretrukne omslutningsvinkel formes mellom den foretrukne anvendelsesledning (vist av fiberen 30 på fig. 1A) og den første, tenkte referanseledning 40 eller den andre, tenkte referanseledning 50. Hvis strukturen 10 omfatter en siktsammenstilling med flere siktkomponenter, kan ledningsrøret anbringes i en av de flere siktkomponenter langs den foretrukne anvendelsesledning eller på en av de flere siktkomponenter langs den foretrukne anvendelsesledning.

Bruk av deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 i en struktur 10 etter at den har blitt anbrakt i et borehull kan være foretrukket ved at den teknikk ikke krever at rørstrukturen dreies eller en fiberspole dreies rundt strukturen under anvendelse av deformeringsfølerne 20 og fiberen 30. Tilsvarende fordeler kan foretrekkes ved bruk av deformeringsfølerne 20 og fiberen 30 i strukturen 10 i en beskyttende plate som kan anbringes på strukturen 10 og festes langs den ene side som beskrevet i US patentskrift 6 854 327.

Flere og variable omslutningsvinkler

Etter hvert som reservoartømmningen fremskrider, vil kravene til følsomhet/oppløsning og deformeringsfaktorer sannsynligvis endre seg. Ved å kombinere flere omslutningsvinkler over en enkelt sone av formasjonen, kan følsomhets- og det dynamiske området av målingene forlenges. F.eks. kan en fiber viklet i 20 grader svikte på et nivå av deformering, mens den samme fiber viklet ved 30 grader eller mer ikke svikter på samme nivå av deformering eller ved et litt høyere deformeringsnivå.

En annen fordel med flere omslutningsvinkler er bedre karakterisering av endringene i Poisson-forholdet (ν) etter hvert som strukturmaterialet gir etter under store deformeringer. Vanlig stål brukt i rør kan ha et Poisson-forhold på nær 0,3 mens det er elastisk men vil gjerne gå mot 0,5 etter at materialet gir etter. Ved å bruke

fiberen 30 og deformeringsfølerne 20 ved to eller flere omslutningsvinkler som vist på fig. 1, vil karakteriseringen av denne endring endre seg. Dette er især viktig for fibre som er viklet eller omsluttet nær vinkelen som utjevner fiberdeformeringen. Dette nullpunkt endrer seg primært som en funksjon av Poisson-forholdet (ν) for strukturen

5 10. Med flere omslutningsvinkler kan denne atferd måles direkte på strukturen 10 i brønnen mens den gjennomgår kompakteringsdeformering. Hvis således forskjellige omslutningsvinkler kan være foretrukket på grunn av forskjellige krefter som virker på rørstrukturen, kan fremgangsmåtene beskrevet ovenfor under henvisning til fig. 3 og 3A brukes for å bestemme en annen foretrukket omslutningsvinkel innenfor det

10 foretrukne omslutningsvinkelområdet. Den foretrukne anvendelse av deformeringsfølerne 20 kan være basert på den foretrukne omslutningsvinkel og en annen foretrukket omslutningsvinkel og brukes i strukturen 10 over samme seksjon eller over forskjellige seksjoner som vist ved seksjonen B og seksjonene A, C på fig. 1. I alle tilfeller kan den foretrukne omslutningsvinkel og en annen foretrukket

15 omslutningsvinkel hver bestemmes ifølge en respektiv bestemt deformeringsfaktor (m). Hver respektive bestemte deformeringsfaktor (m) kan velges ifølge en bestemt kraft og en annen bestemt kraft tilført strukturen 10 over samme seksjon eller over forskjellige seksjoner som gir samme variasjoner i Poisson-forholdet (ν) og aksial deformering (ϵ).

Begrensninger av antallet deformeringsfølere, omslutningslengden og

20 deformeringsføleravstanden kan også løses ved å bruke flere omslutningsvinkler. Følgelig kan flere omslutningsvinkler brukes for å forlenge den målte lengde av et enkelt område langs strukturen eller bevege seg over flere soner langsetter strukturen som vist i seksjonene A, B og C på fig. 1. Bruk av flere omslutningsvinkler kan også brukes for forgrening til flere strukturer, f.eks. flere sideliggende brønner.

25 Selv om bølgelengderesponsen er mer komplisert, kan anvendelse av fiberen 30 og deformeringsfølerne 20 ved variable omslutningsvinkler også være ønskelig. Konfigurasjoner som bruker flere og variable omslutningsvinkler over en enkelt seksjon av strukturen 10, som seksjonen B på fig. 1, kan foretrekkes. Andre konfigurasjoner, f.eks. som foreslått i US patentskrift 6 854 327, kan imidlertid brukes.

30 Oppfinnelsen skal nå bli beskrevet videre under henvisning til dens anvendelse i forskjellige formasjonsmiljøer, f.eks. ved formasjonsskjærings- og kompaktering. I hvert av nedenstående eksempler ble en sylindrisk struktur prøvd ved å bruke et distribuert følesystem (DSS) fremstilt av Luna Innovations Incorporated under lisens fra NASA. LUNA INNOVATIONS Distributed Sensing System (DSS) bruker

35 teknologi som dekker en optisk fiber som inneholder flere FBG-følere og en projiseringsinnretning eller skjerm som kan avbilde en bølgelengderespons produsert av FBG-følerne som resultat av strukturdeformeringen som påvises av FBG-følerne. Oppfinnelsen er imidlertid ikke begrenset til en slik teknologi av de følgende

eksempler og en annen overføringsanordning og transdusere og/eller deformeringsfølere kan brukes, som beskrevet ovenfor.

Formasjonsskjæring

5 Brønner som krysser en slippsoner eller en forkastning kan risikere skjæring. En skjæringssone kan oppstå ved plassering av en brønn over en forkastning, gjennom salt og/eller over svak skifer i et tektonisk aktivt område eller et område som gjennomgår kompaktering, f.eks. det overliggende området.

10 Skjærbevegelse kan helt skjære av borehullet eller i det minste begrense innføringen av rør, arbeidsutstyr og lignende. Det er derfor ønskelig å påvise og måle skjæringsraten, slik at uttaket av hydrokarbon eller fluid, brønnplassering, brønnkonstruksjon og tilsvarende kan modifiseres for å minske eller hindre skade på rørstrukturen og/eller foringsrøret i fremtiden.

15 Konvensjonelle teknikker som brukes for å påvise og måle skjæringsbevegelsen omfatter også verktøy som gyroskoper eller andre innretninger for å foreta målinger. Av forskjellige årsaker kan det være upraktisk eller umulig å kjøre slike konvensjonelle loggeverktøy inn i brønnen. F.eks. kan brønnen allerede ha vært utsatt for en betydelig skade, slik at den ikke kan kjøres.

20 Deformeringsfølere kan imidlertid anbringes på forhånd i rørstrukturen og/eller foringsrøret uten å måtte kjøre konvensjonelle loggeverktøy inn i brønnen. Følgelig kan stedsmålinger utføres av skjærekrefter når som helst uten å forstyrre brønnen og uten større tilleggskostnader. Begynnelsen av skaden kan observeres vesentlig i sanntid, slik at en utbedring kan foretas så snart som mulig.

25 Feltefaring viser at skjæring og bukling kan føre til tap av klaring eller en fullstendig avskjæring, typisk over et 0,9-1,8 meters (3 til 6 fot) intervall av rørstrukturen eller foringsrøret. Således bør en foretrukket anvendelse av deformeringsfølerne i en slik struktur i en skjæringssone konstrueres for minst denne følsomhet.

30 På fig. 5 plotter linje 1 lengden av strukturen Z (i enheter på 0,3 meter) mot omslutningsvinkelen (θ) for et tilfelle hvorved $D = 7,6$ cm (3,0 tommer), linje 2 plotter lengden av fiberen (S) for et tilfelle hvor antallet omslutninger (N_w) = 80, linje 3 plotter antallet gitre med et mellomrom (S) på 2,0 mm, linje 4 plotter antallet gitre per omslutning og linje 5 plotter lengden av strukturen Z mot omslutningsvinkelen θ) per omslutning.

35 Med en 76 millimeter (3-tommers) diameter rørstruktur for overvåkning over en slipp eller skjærsone, hvis plassering er kjent å være innenfor 10 fot, krever minst 6,1 meter (20 fot) dekning langs røret. Ved å bruke prinsippene ifølge oppfinnelsen for de kjente variabler vist på fig. 5, trengs det omtrent 20,4 meter (67 fot) av følefiber for å dekke omtrent 7,3 meter (24 fot) av rørstrukturen forutsatt at en foretrukket

omslutningsvinkel på omtrent 21 grader. For en foretrukket avstand mellom deformeringsfølerne på omtrent 2 cm, anbefales 12 deformeringsfølere per omslutning som er større enn minimumsanbefalingen på 10 deformeringsfølere per omslutning. Det totale antall deformeringsfølere er omtrent 1000.

- 5 Det fins også et behov for å avbilde deformeringen av et objekt for å kunne avbilde formen og størrelsen av deformeringen. Samme omslutningsteknikk kan brukes for å avbilde, påvise og måle bøyning og bukling av den sylindriske struktur som forklart i eksemplene nedenfor.

10 Eksempel 1

Fig. 6 viser den resulterende bølgelengderespons i forhold til hver nummererte deformeringsføler fra en sylindrisk struktur som gjennomgår forskyvningsskjæring i en kontrollert prøve. Den sylindriske struktur er 76 millimeter (3 tommer) i diameter og 610 mm (24 tommer) lang. Selv om deformeringsføleren er anbrakt i avstand fra den optiske fiber i denne prøve omtrent med 1 cm, kan en avstand på 2 cm være tilstrekkelig for å måle samme skjærespons i en sylindrisk struktur med samme diameter. En foretrukket omslutningsvinkel på omtrent 20 grader blir brukt. Den påviste variasjon i bølgelengderespons som representerer sideveisforskyvning, var mellom 0,025 mm (0,001 tommer) opp til omtrent 15,24 mm (0,600 tommer).

20 I dette eksempel vil en 0,025 mm (0,001 tommer) sideveis forskyvning translateres til en knekk i strukturen på mindre enn en halv grad for hver seksjon på et hundre fot av strukturen, hvilket er ubetydelig. Imidlertid vil en sideveis forskyvning på omtrent 2,5 mm (0,1 tomme) over samme lengde av strukturen translateres til en knekk på omtrent 48 grader for hver 30,5 meter (100 fot) seksjon av strukturen som kan hindre adgang for produksjonsloggeverktøyet. Ved å kjenne til størrelsen av den sideveisforskyvning (knekk) før det forsøkes å få adgang, kan dette hindre tap og fastsetting av loggeverktøy og tapte brønner.

Bølgelengderesponsen vist på fig. 6 kan avbildes i sann tid på en projeksjonsinnretning, f.eks. skjermene fremstilt av Luna Innovations. Påvisning av variasjoner i bølgelengderespons ved hver deformeringsføler etter hvert som strukturen blir overvåket, vil avsløre endringer i deformeringen av strukturen og hvilken type kraft som får strukturen til å deformere. Variasjoner i bølgelengderesponsen blir følgelig avslørt av variasjoner i amplituden av bølgelengderesponsen ved hver deformeringsføler. Evnen til å påvise deformering på strukturen og avbilde dette i form av en bølgelengderespons på en projeksjonsinnretning er imidlertid ikke begrenset til en sylindrisk struktur og kan også brukes i forbindelse med de fleste objekter som kan overføre deformeringsendring fra objektet til deformeringsføleren.

Fig. 7 viser en enkelt illustrasjon av en skjærekraft tilført strukturen 10. Her blir strukturen 10 utsatt for en skjærekraft 210 på den ene side av strukturen 10 og en annen

skjærekraft 220 på en annen side av strukturen 10. Bølgelengderesponsen som representerer deformeringen på strukturen 10 målt av deformeringsfølerne 20 tilknyttet skjærekraftene 210, 220 er periodisk og omtrent sinusformet som vist på fig. 7A. Perioden av bølgelengderesponsen eller signalet er likt omtrent en syklus per omslutning av fiberen 30 rundt strukturen 10. Amplituden av det periodiske signal blir bestemt av størrelsen av skjærekraftene 210, 220. Bølgelengderesponsen på fig. 7A befinner seg nær strukturen 10 på fig. 7 for å vise punkter av deformering på strukturen 10 og tilsvarende bølgelengderespons produsert som resultat av en slik deformering. F.eks. er deformeringen på strukturen 10 mellom skjærekraftene 210, 220 minimal sammenlignet med deformeringen på strukturen 10 nær hver skjærekraft 210, 220 som vist av den maksimale bølgelengderespons 230 og den minimale bølgelengderespons 240A, 240B. De minimale bølgelengderesponser 240A, 240B viser også hvordan skjærekrefter 210, 220 får strukturen 10 til å trykkes sammen og strekke seg (i tensjon). Bruk av forhåndsanbrakte deformeringsfølere 20 på strukturen 10 gjør det således mulig å påvise deformering på strukturen 10 som kan translateres gjennom godt kjente konvensjonelle anordninger og avbildes i sann tid.

Formasjonskompaktering

Aksial kompaktering blir vanligvis målt med radioaktive tagger og spesielle loggeverktøy som typisk krever at brønnen blir stengt. Måling av deformering på rørstrukturen eller foringsrøret under en prosent er vanskelig å oppnå med disse konvensjonelle teknikker. Ved høyere deformering blir en bøyning eller bukling i foringsrøret eller rørstrukturen også vanskelig å påvise uten å trekke produksjonsrøret ut og kjøre akustiske eller mekaniske flerfinger griper eller gyroskoper inn i brønnen.

Ulempene i forbindelse med konvensjonelle anordninger for å påvise og måle deformering forårsaket av aksiale kompaktering kan unngås med forhåndsanbrakte deformeringsfølere. Med andre ord kan bruk av forhåndsanbrakte deformeringsfølere på strukturen brukes for påvisning på stedet og måling av aksiale kompakteringskrefter på måten som beskrevet ovenfor.

Eksempel 2

I dette eksempel er nøyaktig målinger av liten deformering og høy følsomhet for bøyning eller bukling forårsaket av aksial kompaktering, viktige mål. Et tynnvegget PVC-rør ble prøvd ved å bruke vekten av røret, horisontalt opphengt i endene, som den tilførte kraft. En foretrukket omslutningsvinkel på omtrent 20 grader ble brukt for å tilføre deformeringsfølerne og den optiske fiber til en 3 meter (10 fot) lang seksjon av røret med en diameter på 16,5 cm (6,5 tommer). En 5 cm deformeringsføleravstand ble brukt for å løse bølgelengderesponsen fra en bukling eller bøyning.

På fig. 8 er det vist en bølgelengderespons fra sidekraften tilført av vekten av røret. En maksimal sideforskyvning på omtrent 1,78 mm (0,07 tommer) ble påvist. Bølgelengderesponsen på fig. 8 viser tydelig en bøyning eller en bukling på grunn av at en periode eller syklus av bølgelengderesponsen tilsvarende en omvikling av fiberen. En 1,78 mm (0,07 tomme) sideveis forskyvning representerer mindre enn 7 graders bøyning eller bukling for hver seksjon av røret på 100 fot som er betydelig og kan påvises av konvensjonelle skyvelær- og akustisk avbildningsverktøy. For å kjøre slike verktøy inn i brønnen må brønnen stenges og produksjonsrøret må trekkes ut.

Eksempel 3

I dette eksempel ble samme rør brukt for prøving med en vekt opphengt fra midten av røret som var horisontalt opphengt i hver ende. Sideforskyvningen på grunn av en bøyning er omtrent 5,791 mm (0,228 tommer). Som vist på fig. 9 vil et relativt rent periodisk signal vises overalt unntatt ved endene og ved midten av bølgelengderesponsen hvor vekten henger og forstyrrer signalet. De forstyrrede signaler er et spesielt tilfelle som er knyttet til rørknusing forårsaket av lokal belastning på røret.

Fig. 10 viser en enkelt illustrasjon av en sidekraft på strukturen 10 forårsaket av aksial kompaktering. Her blir strukturen 10 utsatt for en sidekraft 310 på en side av strukturen 10. Bølgelengderesponsen representerer deformeringen på strukturen 10 målt av deformeringsfølere 20 knyttet til sidekraften 310 og omtrent sinusformet som vist på fig. 10A. Perioden av bølgelengderesponsen eller signalet er lik omtrent en syklus per omvikling av fiberen 30 rundt strukturen 10. Amplituden av det periodiske signal blir bestemt av størrelsen av sidekraften 310. Bølgelengderesponsen på fig. 10A befinner seg nær strukturen 10 på fig. 10 for å vise punkter av deformering på strukturen 10 og tilsvarende bølgelengderespons produsert som resultat av en slik deformering. F.eks. er deformeringen på strukturen 10 nær sidekraften 310 større sammenlignet med deformeringen på strukturen 10 i hver ende som vist av de maksimale bølgelengderesponser 330A, 330B og den minimale bølgelengderespons 320. De maksimale bølgelengderesponser 330A, 330B viser ofte hvordan sidekraften 310 får strukturen 10 til å komprimere og strekke seg (i tensjon).

Eksempel 4

I tillegg til å påvise en bøyning eller en bukling, kan en begynnende ovalisering eller knusekrefter også påvises og skilles fra en bøyning eller en bukling. En ren ovalisering eller knusekraft bør kunne produsere en ren ovaliseringsbølgelengderespons. I dette eksempel blir samme rør prøvd med klemmer som blir brukt som knusekraft nær midten av røret og litt stramt med orienteringen av den tilførte kraft tilpasset over diameteren av røret for litt å minske dets

tverrsnittdiameter. Den resulterende bølgelengderespons er vist på fig. 11 og viser en periode på omtrent to sykluser per omvikling i motsetning til en syklus. I dette eksempel er minimumsdiameteren minsket med 1,27 mm (0,05 tomme) på grunn av den tilførte knusekraft.

5

Eksempel 5

I dette eksempel blir samme rør prøvd ved å dreie klemmen nær midten av røret 90 grader. Den resulterende bølgelengderespons er vist på fig. 12 og viser også en periode på omtrent to sykluser per omvikling. I dette eksempel blir
10 minimumsdiameteren minsket med 1,78 mm (0,07 tomme).

Den økte deformering (og følgelig deformering) er åpenbar sammenlignet med fig. 11 og 12. Det er en enkel sak å skalere den resulterende forskyvning i bølgelengde til en deformering og den resulterende deformering til en relativ knusing.

Fig. 13 viser en enkelt illustrasjon av en knusekraft på strukturen 10 forårsaket
15 av aksial kompaktering. Her blir strukturen 10 utsatt for en knusekraft 410 på alle sider av strukturen 10. Bølgelengderesponsen som representerer deformering på strukturen 10 målt av deformeringsfølere 20 tilknyttet knusekraften 410, er et vesentlig konstant, periodisk signal som vist på fig. 13A. Perioden av bølgelengderesponsen eller signalet er lik omtrent to sykluser per omvikling av fiberen 30 rundt strukturen 10 som lett
20 skilles fra bølgelengderesponsen fra en bøyning eller en bukling nevnt i ovennevnte eksempler. Amplituden av det periodiske signal blir bestemt av størrelsen av knusekraften 410. Bølgelengderesponsen på fig. 13A befinner seg nær strukturen 10 på fig. 13 for å vise punkter av deformering på strukturen 10 og tilsvarende bølgelengderespons produsert som resultat av en slik deformering. F.eks. er
25 deformeringen på strukturen 10 vesentlig konstant rundt strukturen 10 som vist av de vesentlige konstante bølgelengderesponser 420A, 420B.

På fig. 13B viser et enderiss av fig. 13 knusekraften 410 og den resulterende deformering av strukturen 10 vist stippet ved 430.

Fig. 14 viser videre den relative deformeringsamplitude (W_A) som målt av en
30 bølgelengderespons i FBG-føleren eller en annen deformeringsføler eller transduser, som funksjon av asimut rundt en rørstruktur som utsettes for en knusekraft. Den maksimale, sammentrykkende deformering (negativt signal) oppstår ved 0 (eller 360) og 180 grader. Den maksimale strekkdeformering (positivt signal) oppstår ved 90 og 270 grader. Den nøytrale deformering oppstår ved 45, 135, 225 og 315 grader.

35

Eksempel 6

I dette eksempel blir følsomheten minsket for å gjøre det mulig å måle høyere aksiale deformeringer ($\epsilon \cong 2$ prosent) på en rørstruktur. Etter hvert som strukturmateriallet begynner å gjennomgå en plastisk deformering, vil Poisson-forholdet

(v) nærme seg mot 0,5 i grensen av plastdeformeringen. På fig. 15 plotter den heltrukne linje deformeringsfaktoren m som en funksjon av omslutningsvinkelen θ , forutsatt $v = 0,5$ og $\varepsilon \cong 2,0$ prosent. Ifølge fig. 15 er følgelig en omviklingsvinkel på omtrent $\theta_1 = 30$ grader eller mer foretrukket. F.eks. vil en omslutningsvinkel på 30 grader gi en deformeringsfaktor (m) på 0,15 som translaterer til en deformering på 1,5 prosent i fiberen for en 10 prosent deformering på strukturen. En omslutningsvinkel på 20 grader vil gi en deformeringsfaktor på 0,33 som vil translaterer til en deformering på 3,3 prosent og vil bryte eller ødelegge fiberen. Den foretrukne omslutningsvinkel vil være litt høyere (omtrent 35 grader) for nesten å nulle ut den tilførte deformering på fiberen ($m = 0$) når svært høye aksiale deformeringer på rørstrukturen (i størrelsesorden 10 prosent) forventes og når hensikten er å måle bukling snarere enn aksial deformering. Den stiplede linje på fig. 15 viser nm forskyvning på den høyre akse.

Fig. 16 viser bølgelengdeforsyningen ($\Delta\lambda$ i nm) for forskjellige nivåer av ren tilført aksial deformering (kompresjon) på samme rørstruktur plotter versus gitternummeret (D_N). På fig. 16 er linjene og deres tilhørende aksiale deformeringer identifisert som følger: 16a = 0,1 % aksial deformering, 16b = 0,2 % aksial deformering, 16c = 0,3 % aksial deformering, 16d = 0,4 % aksial deformering, 16e = 0,5 % aksial deformering, 16f = 0,75 % aksial deformering, 16g = 1,0 % aksial deformering, 16h = 1,25 % aksial deformering og 16i = 1,5 % aksial deformering. Signalet ved en 30 graders omslutningsvinkel blir redusert fra en 20 graders omslutningsvinkel som beskrevet under henvisning til fig. 15. Reduksjonen i signalet som funksjon av omslutningsvinkel følger således formen som vist på fig. 15 og deformeringsfaktoren (m)-ligningen beskrevet ovenfor.

En 30 graders omslutningsvinkel kan lett oppta og måle opp til 5 prosent aksial deformering og samtidig bevirke bare en brøkdel av deformeringen til fiberen. Etter hvert som den aksiale deformering øker, blir den begynnende bukling og andre høyere deformeringsmoduser avslørt av den periodiske natur av bølgelengderesponsen.

Selv om fig. 16 viser begynnende rørbukling, forblir den generelle bølgelengderespons vesentlig lineær etter hvert som den aksiale deformering øker. Dette er videre illustrert på fig. 17 som sammenligner gjennomsnittet ($\square$), spissen ($\blacklozenge$) og effektverdien (rms) ($\times$) bølgelengderespons $\Delta\lambda$ med den beregnede (—) eller forventede bølgelengderespons på forskjellige nivåer av tilført aksial deformering ε_a . Ved omtrent 1,5 prosent aksial deformering, begynner spissavlesningen å skille seg litt fra en lineær respons etter hvert som strukturmaterialet begynner å bukle litt.

Et av de mest følsomme områder i en brønn for kompaktering og deformering er kompletteringssonen. Dette er især tilfellet i svært kompakterende ikke-konsoliderte formasjoner hvor det kreves sand kontroll.

For å kontrollere formasjonsområder som omfatter sand, blir basisrøret vanligvis forsynt med et filter, vanligvis kalt en sandsikt. En gruspakke (nøye tilpasset sand) kan

også brukes mellom sandsikten og det utvendige foringsrør eller formasjonen. Sandsikten kan omfatte en konvensjonell sandsiktrådomvikling og eventuelle andre konvensjonelle siktkomponenter (heretter kalt en siktsammenstilling). Trådviklingen i sikten er konstruert for å kunne la fluid strømme gjennom åpninger som er tilstrekkelig små for å utelukke større partikler.

Høy aksial deformering forårsaket på basisrøret kan stenge trådviklingsåpningene og svekke fluidstrømmen. Bøyning eller buklinger i basisrøret kan også kompromittere strukturintegriteten av siktsammenstillingen og derved forårsake tap av sandkontroll. I dette tilfellet må brønnen stenges inntil reparasjoner kan utføres. Slike feil krever minimum at arbeid foretas i brønnen og ytterste tilfeller en fullstendig omboring. Følgelig er overvåkning av strukturen for bøyninger, buklinger og aksiale deformering i kompletteringssonen foretrukket, især hvor det kreves sandkontroll. Følgelig kan deformeringsfølere brukes i basisrøret og/eller siktsammenstillingen ved omtrent en 20 graders eller omslutningsvinkel.

Eksempel 7

I dette eksempel ble en 914 mm (36 tommer) rørstruktur med omtrent en 76 millimeter (3 tommer) diameter og et Poisson-forhold (ν) på omtrent 0,5 prøvd i et regulert miljø ved å bruke en 21-graders omviklingsvinkel for deformeringsfølere og fiber. Forskjellige størrelser av aksial deformering ϵ_a blir tilført i hver ende av strukturen som ellers var u-støttet. Den gjennomsnittlige bølgelengderespons (faktisk, ♦) over de brukte deformeringsfølere ved hvert nivå av tilført aksial deformering ble sammenlignet med den beregnede bølgelengde (□)-respons på fig. 18. Ved omtrent 0,05 prosent deformering er det en avvikelse fra den lineære, beregnede bølgelengderespons og antyder en bøyning eller en bukling som begynner å dannes i den prøvede struktur.

Følgende figurer (fig. 19, 20 og 21) viser progressivt hvordan en avvikelse fra den beregnede bølgelengderespons oppstår og hvordan den kan brukes med et periodisk signal for å påvise og bestemme størrelsen av bøyningen eller buklingen i samme prøvede struktur. Av praktiske årsaker er en vertikal skisse av rørstrukturen når den reagerer på den tilførte aksiale deformering vist (i sort) i midten av fig. 19, 20 og 21. På fig. 19, 20 og 21 er bølgelengdeforskyvningen $\Delta\lambda$ (nm) plottet mot gitternummeret (D_N). På fig. 19 er den tilførte, aksiale deformering nominell eller omtrent null.

På fig. 20 er den tilførte, aksiale deformering 0,25 prosent. På fig. 21 er den tilførte, aksiale deformering økt til 0,75 prosent. På fig. 20 viser bølgelengderesponsen den tilførte deformering men hvor det ikke er noen betydelig deformering i strukturen.

På fig. 21 er bølgelengderesponsen merkbart større enn bølgeresponsen på fig. 20 og det ser ut til å være en bøyning eller bukling i strukturen. Etter hvert som den

aksiale deformering tilført hver ende av strukturen øker, blir strukturen komprimert og forårsaker deformering i form av en bøyning eller en bukling.

Fig. 22 viser en enkelt illustrasjon av en ren aksial deformering (kraft) tilført strukturen 10. Her blir strukturen 10 utsatt for en aksial kreft 520. Bølgelengderesponsen 530 som representerer deformeringen på strukturen 10 målt av 5 deformeringsfølerne 20 tilknyttet den aksiale kraft 520, er vesentlig konstant som vist på fig. 22A. Således får den aksiale kraft 520 strukturen 10 til å bli kortere eller komprimere og ekspandere i retningen vist av pilene 510. Som resultat blir bølgelengderesponsen 530 vesentlig konstant inntil strukturen 10 begynner å deformere 10 i form av en bøyning eller bukling som vist av den progressive illustrasjon på fig. 19, 20 og 21 ovenfor.

Et av områdene i brønnen hvor minst deformering sannsynligvis vil oppstå i kompakterende reservoarer, er i overdekket. De høyeste tensil deformeringer blir vanligvis observert svært nær kompakteringssonen og størrelsen av deformeringen 15 reduseres etter hvert som avstanden fra kompakteringssonen øker. Dette gjenspeiles i den teoretiske plott på fig. 23 som plotter delta deformeringen ($\Delta\epsilon$) versus avstanden (d) langs linjen (i fot) som delta S_{ext} ZZ (*), hvor reservoaret gjennomgår en 8,0 prosent kompakteringsdeformering og den maksimale utvidede deformering i overdekket er omtrent 1,0 prosent.

Den faktiske størrelse av den utvidede deformering i overdekket like over reservoaret, er svært avhengig av reservoarets geometri og materialegenskapene av reservoaret og overdekket. Forholdet mellom den utvidede deformering like over reservoaret og kompresjonsdeformeringen i reservoaret kan brukes som diagnose for reservoarytelsen. Likeledes påvirker mengden av tensjonsdeformering i overdekket 25 slike ting som seismiske signaler som blir brukt for 4D-seismikk målinger. Således blir fiberen og deformeringsfølerne fortrinnsvis brukt ved omtrent 90 grader langsgående strukturen for å øke følsomheten for tensil deformeringer. Når fiberen og deformeringsfølerne er anbrakt på en rørstruktur spesifikt konstruert for å overvåke slik deformering, kan det foretas en svært nøyaktig måling.

Videre kan tre eller flere fibere som inneholder deformeringsfølere anbringes langsgående og i samme avstand rundt rørstrukturen for å påvise ikke bare aksial deformering på strukturen men også bøyingsdeformering. Deformeringen på utsiden av krumningsradiusen av bøyningen eller buklingen vil være høyere (i tensjon) enn deformeringen på innerradiusen. Når således tre eller flere fibrer som inneholder 35 deformeringsfølere blir anbrakt på denne måte, blir påvisning og måling av en lang radiusbøyning mulig gjennom den ujevne bølgelengderespons.

Etter å ha vist særegne utførelser, kan oppfinnelsen summeres i bredere aspekter som følger.

I tillegg til en fremgangsmåte for å bruke en deformeringsføler på et sylindrisk legeme, angår oppfinnelsen mer spesifikt fremgangsmåter for å bestemme en foretrukket bruk av flere transdusere eller følere i en sylindrisk struktur for å overvåke deformering av strukturen når denne utsettes for forskjellige krefter. Oppfinnelsen er i
 5 andre aspekter også rettet mot fremgangsmåter for å avbilde deformering av et objekt etter hvert som objektet blir utsatt for forskjellige krefter.

I forskjellige utførelser er det tilveiebrakt en fremgangsmåte for å avbilde deformeringen av et objekt som omfatter trinnene:

10 bruke flere deformeringsfølere på objektet i en foretrukket omviklingsvinkel, påvise deformering av objektet ved hver deformeringsføler og avbilde deformeringen påvist av hver deformeringsføler på en prosjekteringsinnretning.

Objektet kan være sylindrisk og hver deformeringsføler kan påvise aksial og radial deformering på objektet.

15 Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:
 velge et foretrukket omviklingsvinkelområde,
 bestemme en deformeringsfaktor for minst en omvikling i det foretrukne omviklingsvinkelområdet og
 bestemme den foretrukne omviklingsvinkel i det foretrukne
 20 omviklingsvinkelområdet basert på minst en deformeringsfaktor.

Deformeringen påvist ved hver deformeringsføler kan sendes gjennom minst en fiberoptisk kabel, et ledningsført eller et trådløst medium til projiseringsinnretningen. Deformeringsbildet kan vises som en bølgelengderespons ved hver deformeringsføler og et tilsvarende deformeringsfølernummer. De flere deformeringsfølere kan brukes
 25 enten på en innerflate eller en ytterflate av strukturen. De kan brukes i minst enten en beskyttende kappe eller beskyttende plate. De kan brukes i en kanal i strukturen eller integrert i strukturen når denne er formet.

Hver av de flere deformeringsfølere kan være trådløst koplet til en annen av de flere deformeringsfølere. De flere deformeringsfølere kan være drevet uavhengig. Hver
 30 av de flere deformeringsfølere kan være koplet til en annen av de flere deformeringsfølere gjennom et overføringsmedium som kan overføre et signal. De flere deformeringsfølere kan være koplet sammen av en optisk fiber.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:
 overvåke bølgelengderesponsen og
 35 påvise variasjoner i bølgelengderesponsen ved hver deformeringsføler. Variasjonene i bølgelengderesponsen kan påvises av variasjoner i amplitude for bølgelengderesponsen ved hver deformeringsføler. Forskjellige typer deformering kan påvises basert på bølgelengderesponsen.

Det er også tilveiebrakt en fremgangsmåte for å bestemme en foretrukket bruk av flere deformeringsfølere på en sylindrisk struktur for å overvåke deformering av strukturen omfattende:

velge et foretrukket omviklingsvinkelområde,

5 bestemme en deformeringsfaktor for minst en omviklingsvinkel i det foretrukne omviklingsvinkelområdet,

bestemme en foretrukket omviklingsvinkel i det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en bestemt deformeringsfaktor og

10 bestemme den foretrukne anvendelse av de flere deformeringsfølere på strukturen basert på den foretrukne omviklingsvinkel.

Trinnet med å bestemme deformeringsfaktoren er fortrinnsvis basert på et bestemt Poisson-forhold for strukturen som kan være basert på en bestemt deformering for strukturen. Den bestemte deformering for strukturen kan være basert på en maksimal deformering som strukturen kan møte.

15 Denne fremgangsmåte kan videre omfatte trinnet med å tilføre flere deformeringsfølere til strukturen langs en foretrukket applikasjonslinje. Den foretrukne omviklingsvinkel kan være formet mellom den foretrukne applikasjonslinje og enten en første tenkt referanselinje som strekker seg langs en overflate av strukturen og en andre, tenkt referanselinje som omskriver strukturen.

20 Den kan også videre omfatte trinnene:

bestemme deformeringsfaktoren for hver omviklingsvinkel innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet og

bestemme den foretrukne omviklingsvinkel innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en av de bestemte deformeringsfaktorer.

25 Trinnet med å bestemme den foretrukne omviklingsvinkel innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet kan være basert på et foretrukket deformeringsfaktorområde som omfatter flere av de bestemte deformeringsfaktorer. Trinnet med å bestemme den foretrukne omviklingsvinkel innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet kan være basert på minst en av de flere bestemte deformeringsfaktorer innenfor

30 deformeringsfaktorområdet.

Fremgangsmåten kan også omfatte trinnet med å velge minst en av de bestemte deformeringsfaktorer og/eller deformeringsfaktorområdet basert på en maksimal deformeringsføler deformering.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:

35 bestemme deformeringsfaktoren for flere omviklingsvinkler innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet,

bestemme en annen foretrukket omviklingsvinkel innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en av de bestemte deformeringsfaktorer og

bestemme den foretrukne anvendelse av de flere deformeringsfølere på strukturen basert på den foretrukne omviklingsvinkel og en annen foretrukket omviklingsvinkel og eventuelt trinnene:

5 velge minst en bestemt deformeringsfaktor basert på en bestemt kraft som tilføres et område av strukturen og

velge minst en annen bestemt deformeringsfaktor basert på en annen bestemt kraft tilført minst et område av strukturen og et andre område av strukturen.

Eventuelt er trinnet med å tilføre flere deformeringsfølere til minst et område av strukturen og et annet område av strukturen basert på at minst en foretrukket omviklingsvinkel og en annen foretrukket omviklingsvinkel er tilveiebrakt.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:

innføre minst en av flere deformeringsfølere i en åpning i et ledningsrør,

anbringe minst en av flere deformeringsfølere i ledningsrøret, og

15 innføre et fluid i åpningen av ledningsrøret for minst delvis å herde og sikre minst en av flere deformeringsfølere i ledningsrøret.

Dette ledningsrøret kan anbringes i strukturen langs en foretrukket applikasjonslinje og den foretrukne omviklingsvinkel er formet mellom den foretrukne applikasjonslinje og en første tenkt referanselinje som strekker seg langsgående langs en overflate av strukturen og en andre, tenkt referanselinje som omslutter strukturen.

20 Ledningsrøret kan anbringes på strukturen langs en foretrukket applikasjonslinje og den foretrukne omviklingsvinkel er formet mellom den foretrukne applikasjonslinje og en første, tenkt referanselinje som strekker seg langsgående langs en overflate av strukturen og en andre, tenkt referanselinje som omslutter strukturen.

25 Minst en av flere deformeringsfølere kan anbringes i ledningsrøret av minst en kompresjonskraft eller strekkraft.

Mer spesifikt er det tilveiebrakt en fremgangsmåte for å bestemme en foretrukket anvendelse av en optisk fiber i en sylindrisk struktur der den optiske fiber omfatter minst en føler, omfattende:

velge et foretrukket omviklingsvinkelområde for den optiske fiber,

30 bestemme en fiberdeformeringsfaktor for minst en omviklingsvinkel i det foretrukne omviklingsvinkelområdet,

bestemme en foretrukket omviklingsvinkel for den optiske fiber i det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en bestemt fiberdeformeringsfaktor og

35 bestemme den foretrukne anvendelse av den optiske fiber på strukturen basert på den foretrukne omviklingsvinkel. Minst en føler kan påvise deformering av strukturen. Trinnet med å bestemme fiberdeformeringsfaktoren kan være basert på et bestemt Poisson-forhold for strukturen og en bestemt deformering for strukturen.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnet med å bestemme et foretrukket antall omviklinger basert på en bestemt aksial lengde av strukturen, en diameter for

strukturen og den foretrukne omviklingsvinkel. Fortrinnsvis er det foretrukne antall omviklinger minst åtte.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnet med å bestemme den foretrukne anvendelse av den optiske fiber på strukturen basert på det foretrukne antall omviklinger. En foretrukket føleravstand kan bestemmes basert på et foretrukket antall
5 følere og en bestemt lengde av fiber. Det foretrukne antall følere kan være minst ti.

Trinnet med å bestemme den foretrukne anvendelse av den optiske fiber i strukturen kan være basert på det foretrukne antall følere.

Det foretrukne omviklingsvinkelområdet kan være mellom omtrent 0° og 90° .

10 Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:

bestemme den første fiberdeformering for hver omviklingsvinkel i det foretrukne omviklingsvinkelområdet og

bestemme den foretrukne omviklingsvinkel for den optiske fiber i det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en av de bestemte fiberdeformeringsfaktorer.

15 Her kan trinnet med å bestemme den foretrukne omviklingsvinkel av den optiske fiber innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet være basert på et foretrukket fiberdeformeringsfaktorområde som omfatter flere bestemte fiberdeformeringsfaktorer. Trinnet med å bestemme den foretrukne omviklingsvinkel for den optiske fiber innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet kan være basert
20 på minst en av flere bestemte fiberdeformeringsfaktorer i fiberdeformeringsfaktorområdet.

Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnet med å velge minst en av de bestemte fiberdeformeringsfaktorer og fiberdeformeringsfaktorområdet basert på en maksimal fiberdeformering.

25 Fremgangsmåten kan videre omfatte trinnene:

bestemme fiberdeformeringsfaktoren for flere omviklingsvinkler innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet,

bestemme en annen foretrukket omviklingsvinkel for den optiske fiber innenfor det foretrukne omviklingsvinkelområdet basert på minst en annen av de bestemte
30 fiberdeformeringsfaktorer og

bestemme den foretrukne anvendelse av den optiske fiber i strukturen basert på den foretrukne omviklingsvinkel og en annen foretrukket omviklingsvinkel og eventuelt trinnene:

velge minst en bestemt fiberdeformeringsfaktor basert på en bestemt kraft tilført
35 et område av strukturen og

velge minst en annen av de bestemte fiberdeformeringsfaktorer basert på en annen bestemt kraft tilført minst et område av strukturen og et annet område av strukturen.

Eventuelt kan fremgangsmåten videre omfatte trinnet med å tilføre den optiske fiber til minst et område av strukturen og et annet område av strukturen basert på minst en av de foretrukne omviklingsvinkler og en annen, foretrukket omviklingsvinkel.

Strukturen kan omfatte en siktsammenstilling som kan omfatte flere
 5 siktkomponenter. De flere deformeringsfølere kan så anvendes på minst en innerflate og en ytterflate av en av de flere siktkomponenter. De flere deformeringsfølere kan anvendes på ytterflaten av en av de flere siktkomponenter og innerflaten av en annen av de flere siktkomponenter. De flere deformeringsfølere blir tilført en av de flere siktkomponenter i minst en beskyttende kappe eller en beskyttende plate. De flere
 10 deformeringsfølere kan brukes i en kanal i en av de flere siktkomponenter.

Et ledningsrør kan anbringes i en av de flere siktkomponenter. F.eks. kan det anbringes langs en foretrukket applikasjonslinje og den foretrukne omviklingsvinkel blir formet mellom den foretrukne applikasjonslinje og en første, tenkt referanselinje som strekker seg langs en overflate av strukturen og en andre, tenkt referanselinje som
 15 omskriver strukturen.

Minst en av de flere deformeringsfølere kan innføres i en åpning i ledningsrøret og anbringes i ledningsrøret. Et fluid kan innføres i åpningen i ledningsrøret for minst delvis å stivne og sikre minst en av de flere deformeringsfølere i ledningsrøret som beskrevet ovenfor.

Oppfinnelsen kan brukes for å påvise og overvåke deformering av en vesentlig
 20 sylindrisk struktur i et borehull forårsaket av strukturdeformering, uansett borehull eller formasjonsaktivitet. Som beskrevet her kan oppfinnelsen unikt tilpasses for å påvise og måle aksial kompaktering, skjæring, bøyning, bukling og knusing (ovalisering) som innføres av deformering på borehullsstrukturen på grunn av forkastningsbevegelse og/eller kompaktering i formasjonen. Oppfinnelsen kan således anvendes på enhver
 25 vesentlig sylindrisk struktur i et borehull for å kunne påvise og overvåke deformering av strukturen under produksjon eller andre ikke-produserende operasjoner, f.eks. komplettering (f.eks. gruspakking/fraksjoneringspakking), produksjons- og stimuleringsoperasjoner.

30 Følgelig kan den sylindriske struktur være tilveiebrakt i form av et borehullsrør, f.eks. et borerør, et produksjonsrør, et foringsrør, en rørformet sikt eller en sandsikt.

Oppfinnelsen kan også brukes i en annen situasjon hvor rør ekspanderer og trekker seg sammen eller bøyes, f.eks. i raffinier, gassanlegg og rørledninger. Oppfinnelsen kan også anvendes for avbildning av deformering
 35 (form/størrelse/bevegelse) av andre, ikke-sylindriske objekter og kan således brukes for displasementfølging ved å bruke samme prinsipper som brukes i forskjellige lengdeskaleringer. Oppfinnelsen kan også brukes for å hente data fra andre typer geomekanisk modellering, herunder f.eks. demninger eller andre strukturer. Det er derfor tenkt at forskjellige situasjoner, endringer og/eller modifikasjoner kan foretas av

de beskrevne utførelser uten at oppfinnelsens ånd eller omfang fravikes som definert av de vedføyde krav og ekvivalenter av disse.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å bruke en deformeringsføler i en sylindrisk struktur for
5 å overvåke deformering av strukturen, **karakterisert ved** at fremgangsmåten omfatter:
velge en ønsket følsomhet for aksial deformering i den sylindriske struktur,

bestemme minst en deformeringsfaktor tilsvarende den ønskede følsomhet
hvor minst en deformeringsfaktor representerer et forhold mellom deformering overført
til deformeringsføleren forårsaket av aksial deformering i den sylindriske struktur og
10 den aksiale deformering i den sylindriske struktur,

bestemme en foretrukket omviklingsvinkel i forhold til en tenkt referanselinje
som strekker seg langs en overflate av den sylindriske struktur avhengig av minst en
bestemt deformeringsfaktor og

bruke en deformeringsføler i den sylindriske struktur tilpasset den foretrukne
15 omviklingsvinkel for å måle deformering i retningen av den foretrukne
omviklingsvinkel.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, **karakterisert ved** at trinnet med å bestemme
minst en deformeringsfaktor er basert på et bestemt Poisson-forhold for strukturen.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, **karakterisert ved** at trinnet med å
20 bestemme minst en deformeringsfaktor er basert på en bestemt deformering for
strukturen.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, **karakterisert ved** at trinnet med å bestemme
minst en deformeringsfaktor er bestemt på en bestemt deformering for strukturen og
der det bestemte Poisson-forhold for strukturen er basert på den bestemte deformering
25 for strukturen.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 3 eller 4, **karakterisert ved** at den bestemte
deformering for strukturen er basert på en maksimal deformering som strukturen kan
møte.

6. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den
30 ønskede følsomhet er basert på en maksimal deformeringsfølerdeformering.

7. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at
deformeringsføleren er en av flere deformeringsfølere som brukes langs en
applikasjonslinje langs den foretrukne omviklingsvinkel.

8. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 1-6, **karakterisert ved** at
35 deformeringsføleren er en av flere deformeringsfølere som brukes langs en
applikasjonslinje som strekker seg langs forskjellige omviklingsvinkler i et
omviklingsvinkelområde, idet omviklingsvinkelområdet omfatter den foretrukne
omviklingsvinkel.

9. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 1-6, **karakterisert ved** at den videre omfatter trinnene:

bestemme flere foretrukne omviklingsvinkler avhengig av flere deformeringsfaktorer og

5 bruke flere deformeringsfølere i den sylindriske struktur langs flere applikasjonslinjer langs flere foretrukne omviklingsvinkler, hvorved deformeringsføleren er en av flere deformeringsfølere.

10. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 7-9, **karakterisert ved** at flere deformeringsfølere er koplet sammen av en optisk fiber og der bruken av flere
10 deformeringsfølere i den sylindriske struktur omfatter å bruke den optiske fiber langs en applikasjonslinje som omfatter minst en seksjon rettet langs den foretrukne omviklingsvinkel.

11. Fremgangsmåte ifølge krav 10, **karakterisert ved** at den videre omfatter trinnet med å bestemme et foretrukket antall omviklinger basert på en bestemt aksial
15 lengde av strukturen, en diameter for strukturen og den foretrukne omviklingsvinkel.

12. Fremgangsmåte ifølge krav 11, **karakterisert ved** at det foretrukne antall omviklinger er minst åtte.

13. Fremgangsmåte ifølge krav 10, 11 eller 12, **karakterisert ved** at den videre omfatter trinnet med å bestemme en foretrukket deformeringsføleravstand basert
20 på et foretrukket antall deformeringsfølere og en bestemt lengde av fiberen.

14. Fremgangsmåte ifølge et av kravene 10-13, **karakterisert ved** at hver deformeringsføler omfatter et Bragg gitter skrevet i den optiske fiber.

15. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den videre omfatter trinnene:

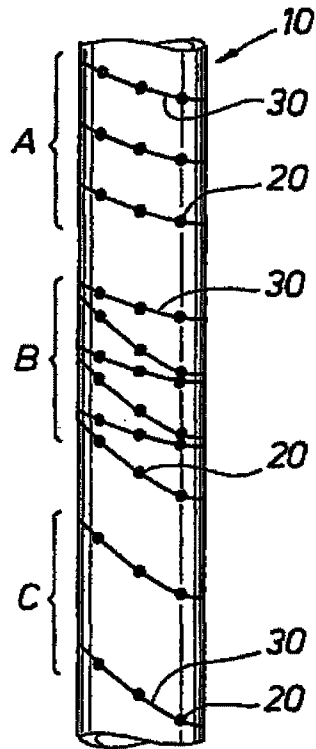
25 innføre deformeringsføleren i en åpning i et ledningsrør anbrakt i forhold til strukturen langs den foretrukne omviklingsvinkel,

anbringe deformeringsføleren i ledningsrøret og innføre et fluid i åpningen i ledningsrøret for minst delvis å herde og sikre deformeringsføleren i ledningsrøret.

16. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den
30 videre omfatter trinnet:

tilveiebringe den sylindriske struktur i form av et borehullsrør, fortrinnsvis et foringsrør.

FIG. 1



1/12

FIG. 1A

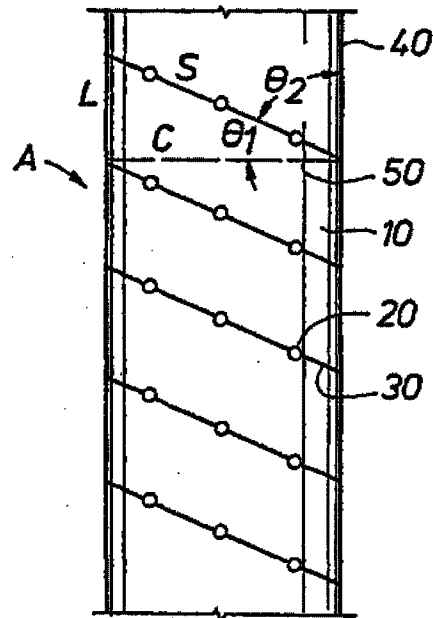


FIG. 7

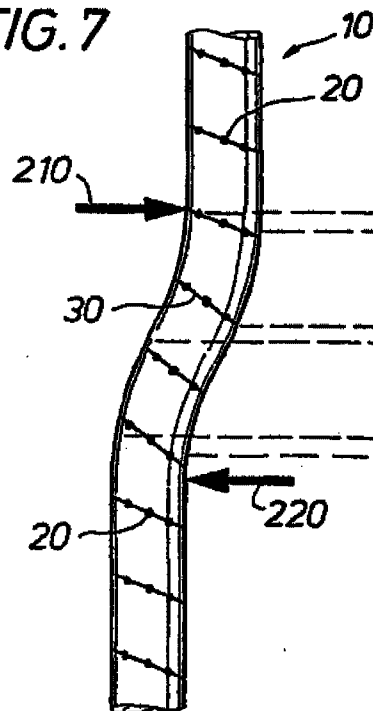
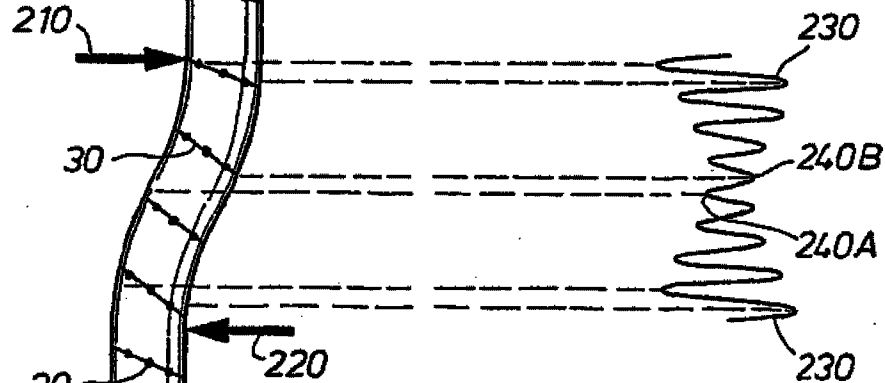


FIG. 7A



2/12

FIG. 2

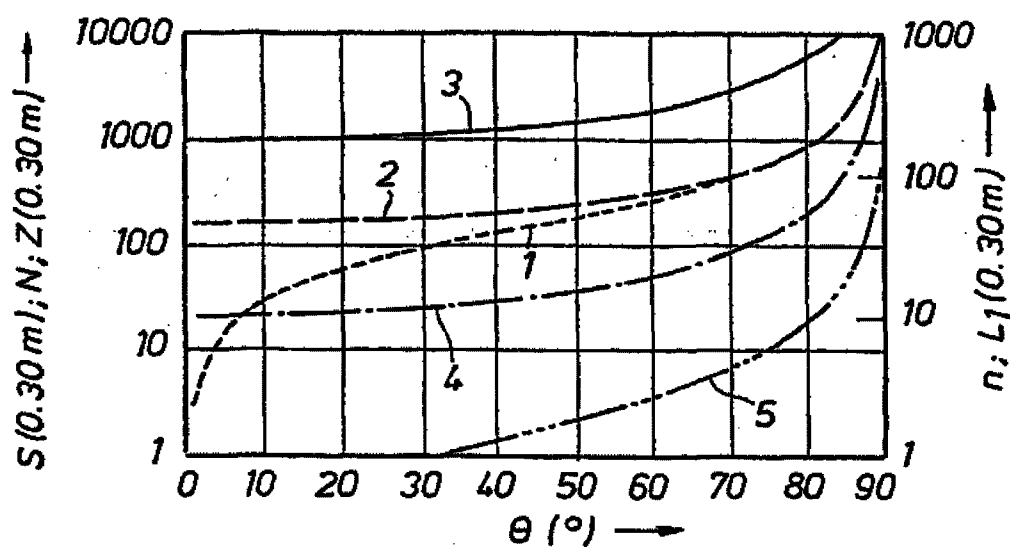
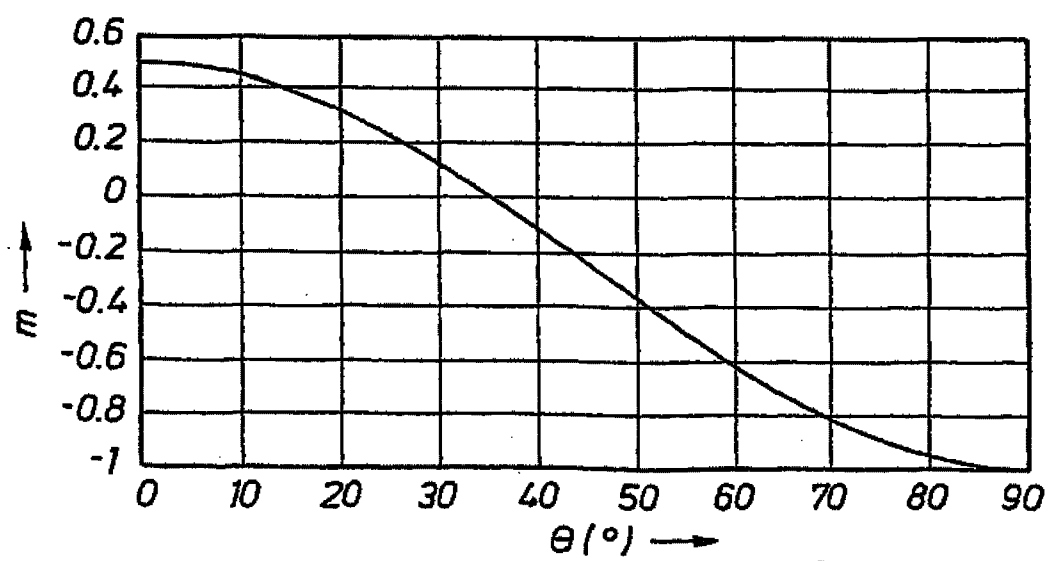


FIG. 3



3/12

FIG.3A

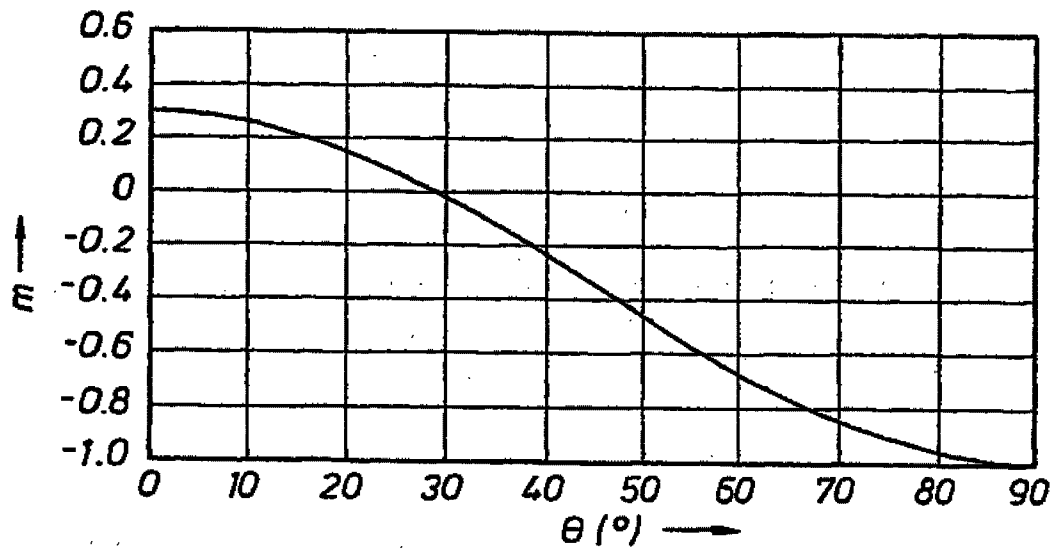
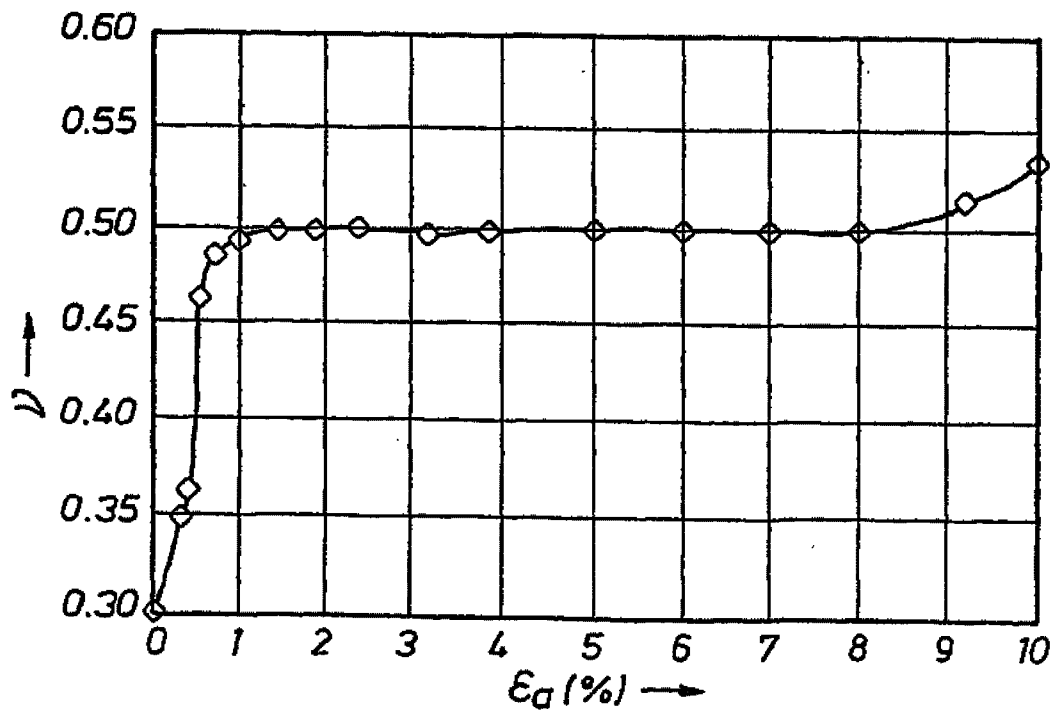


FIG.4



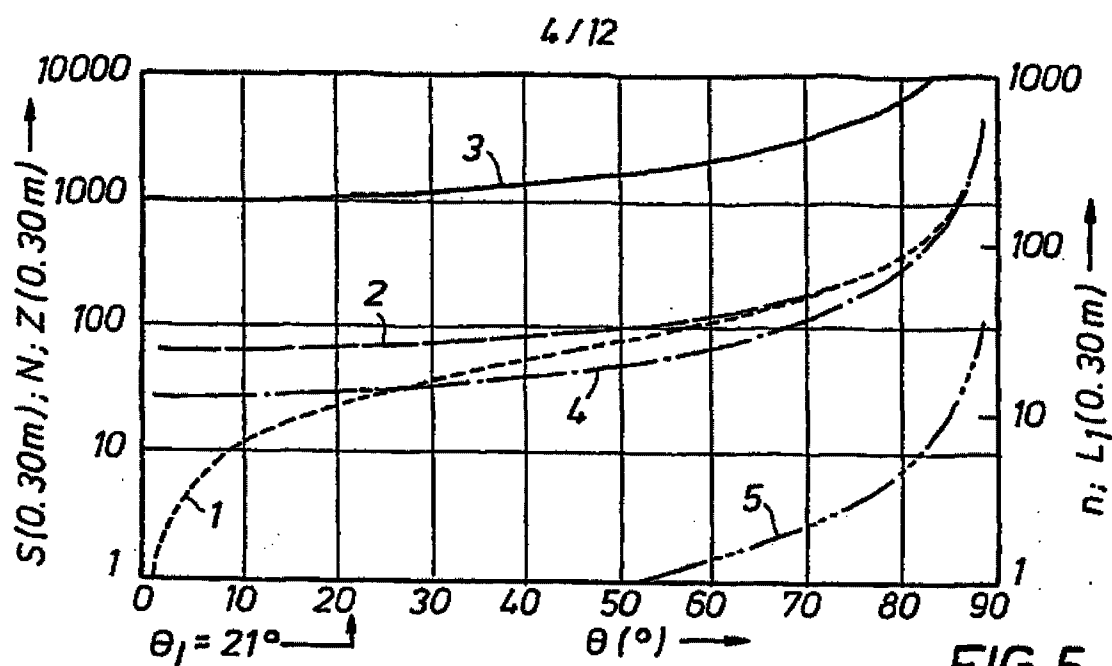


FIG. 5

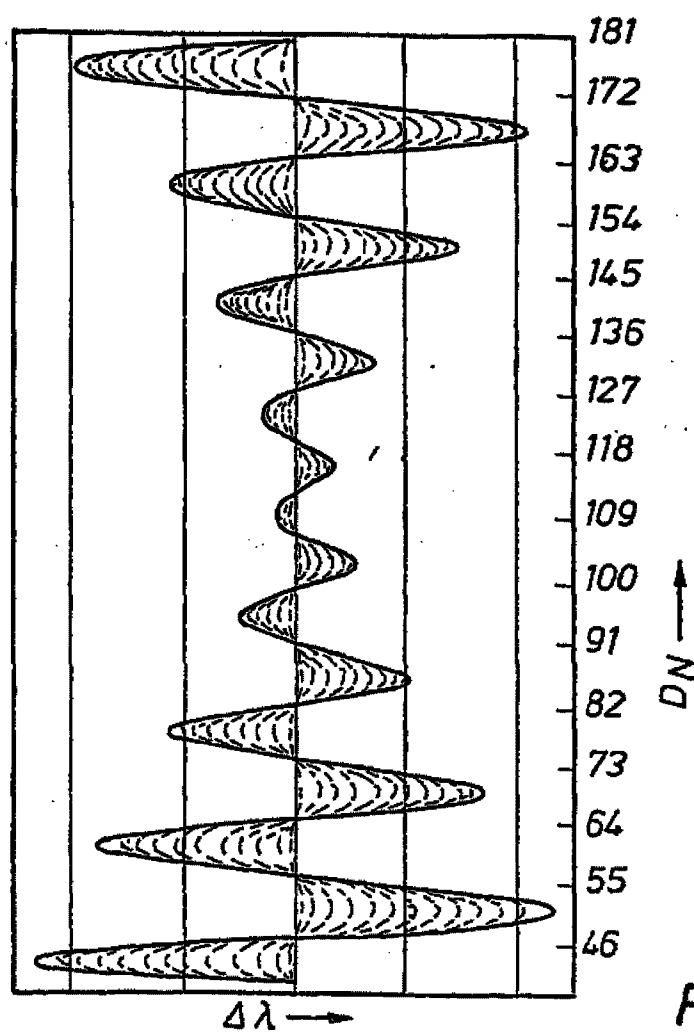


FIG. 6

5/12

FIG. 8

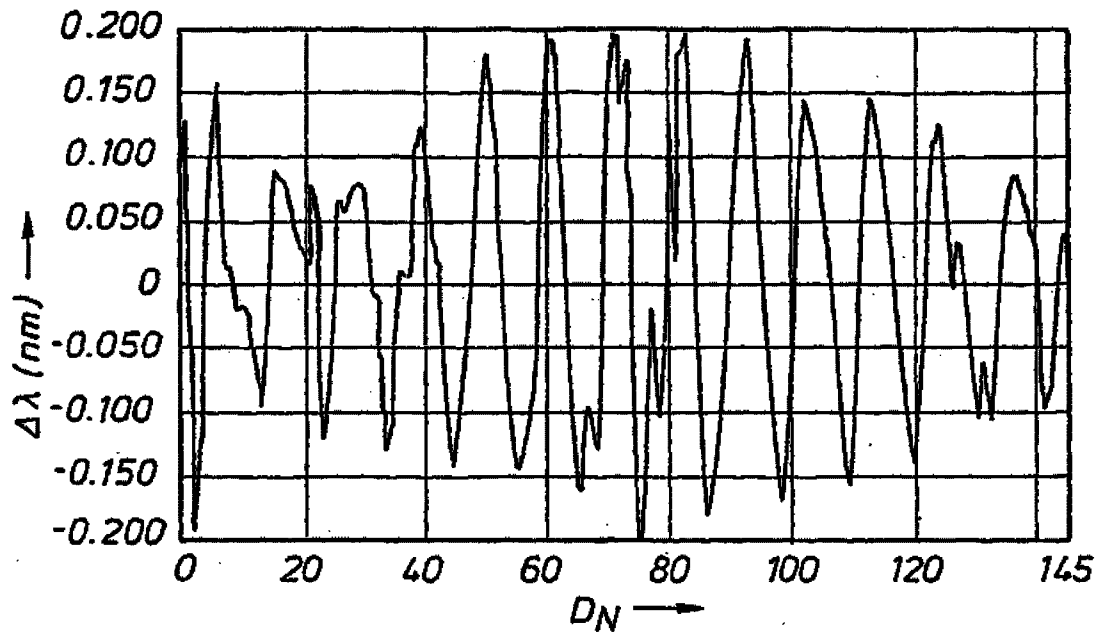


FIG. 9

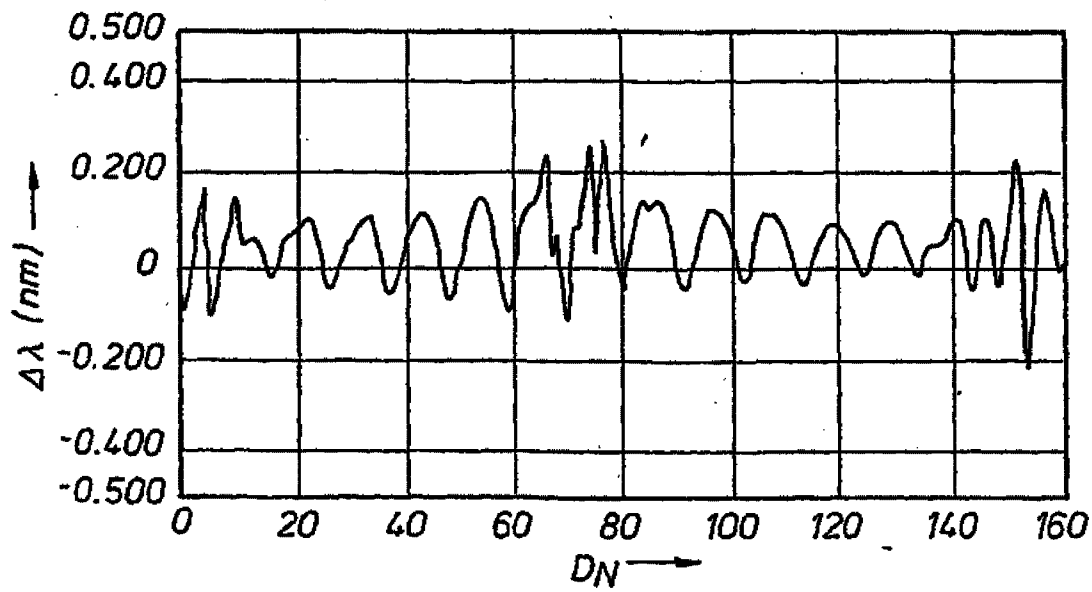


FIG. 10

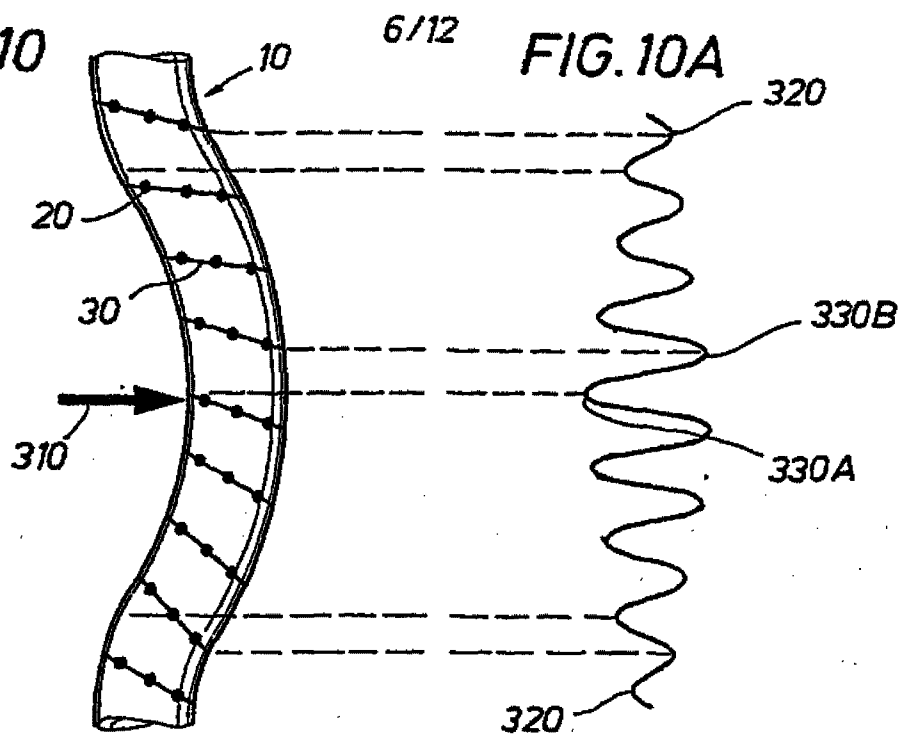


FIG. 13

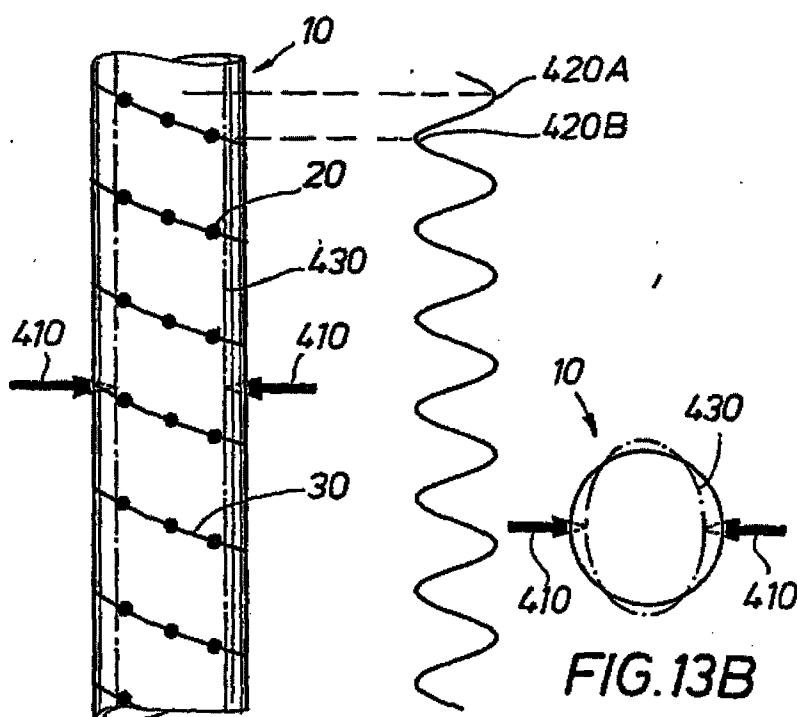
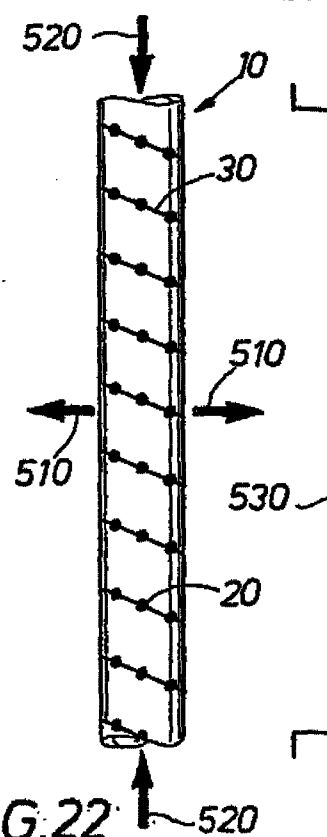


FIG. 13A

FIG. 22A



7/12

FIG.11

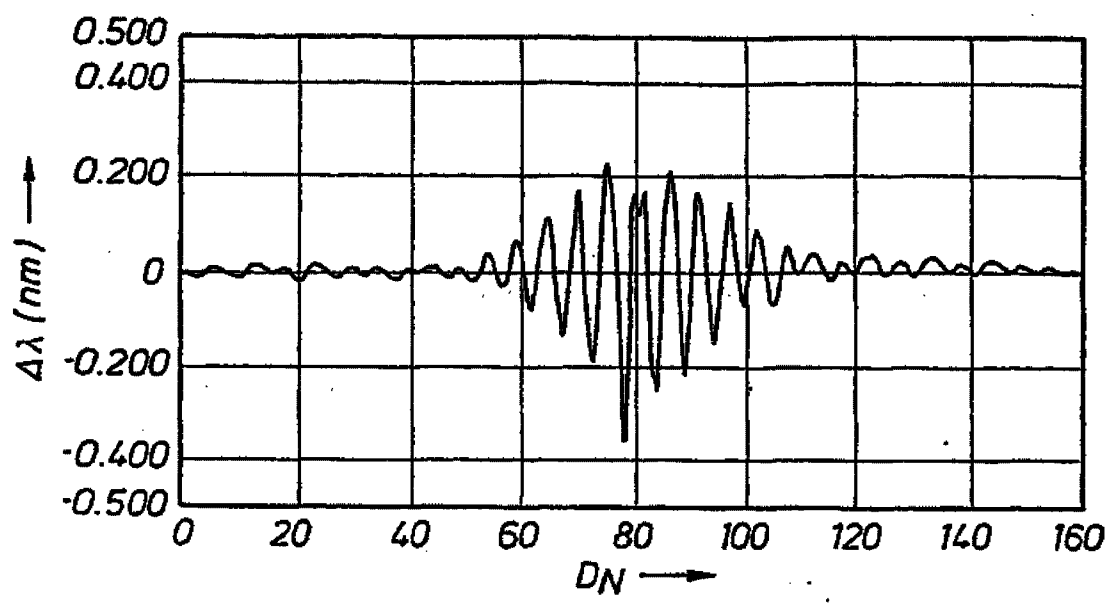
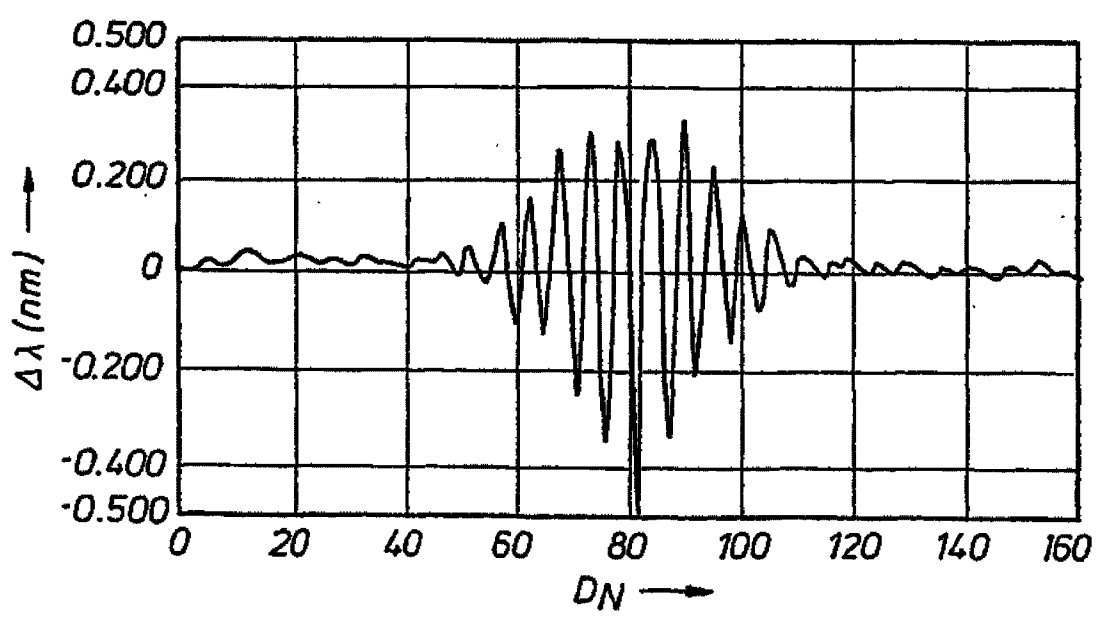


FIG.12



8/12

FIG.14

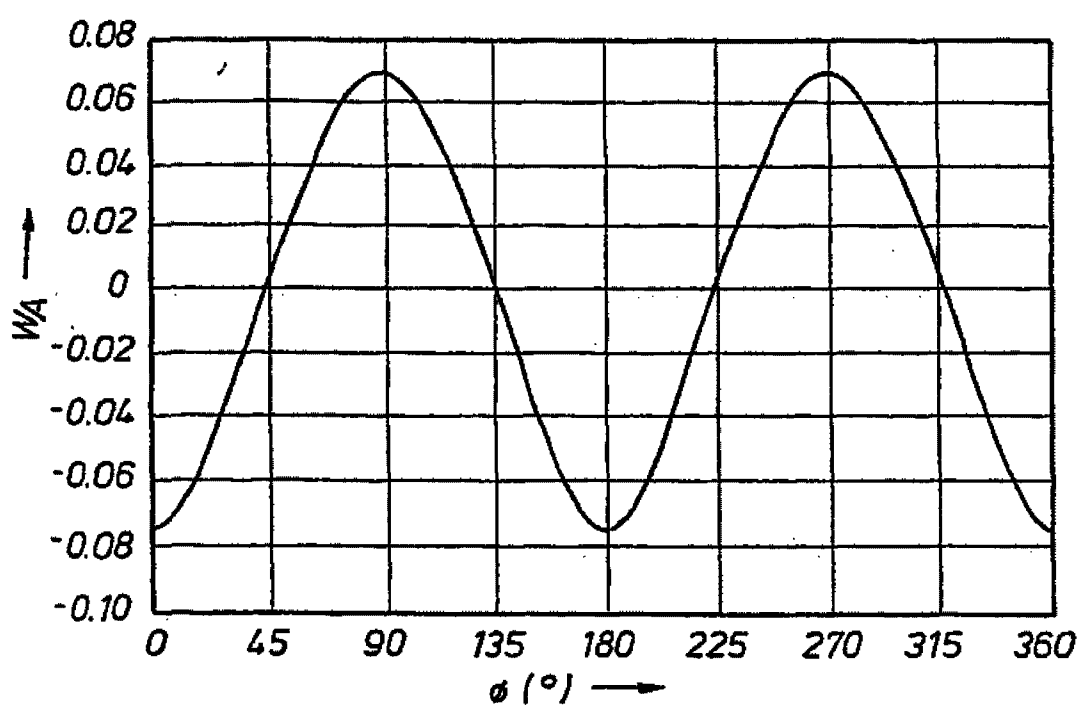


FIG.15

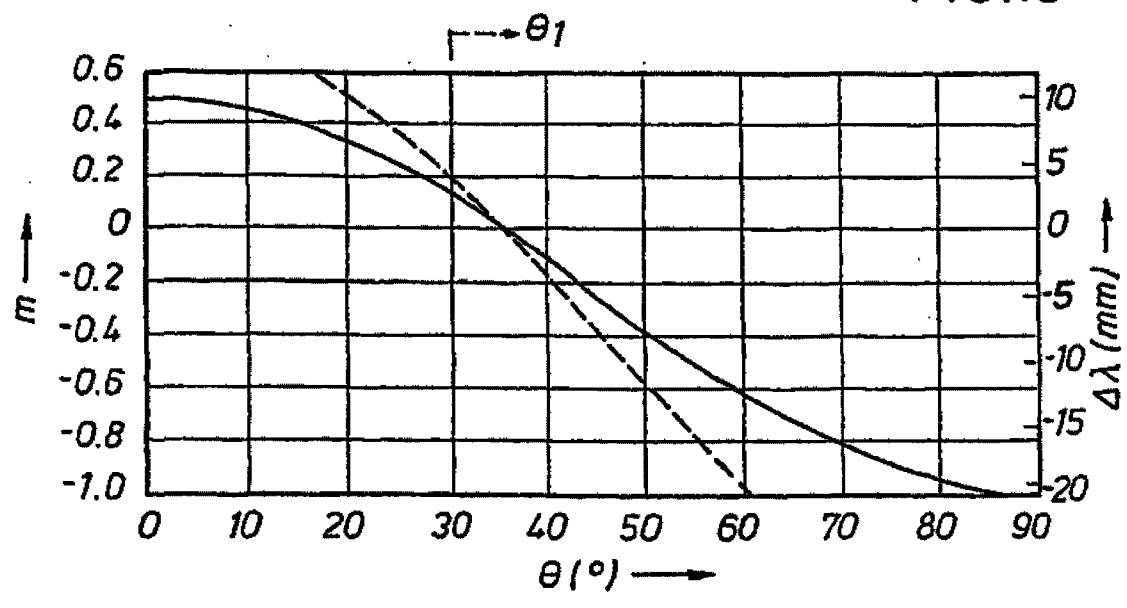
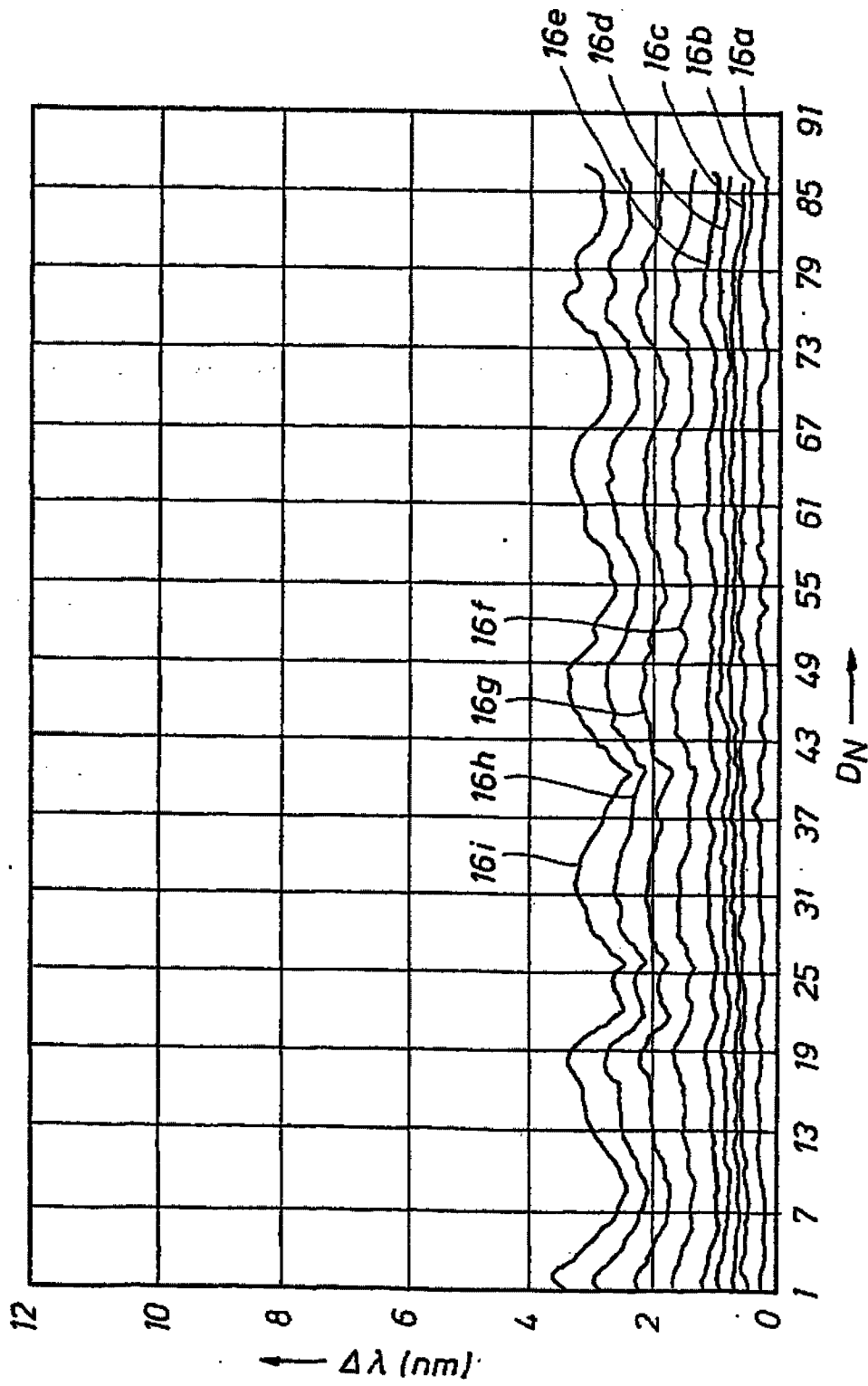


FIG. 16



10/12

FIG.17

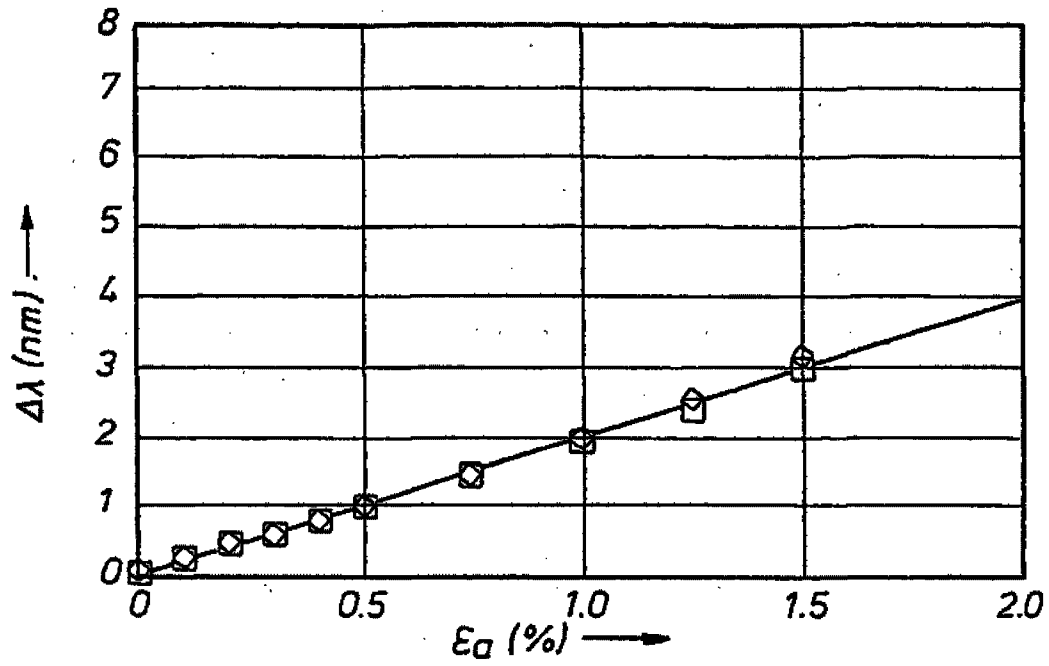
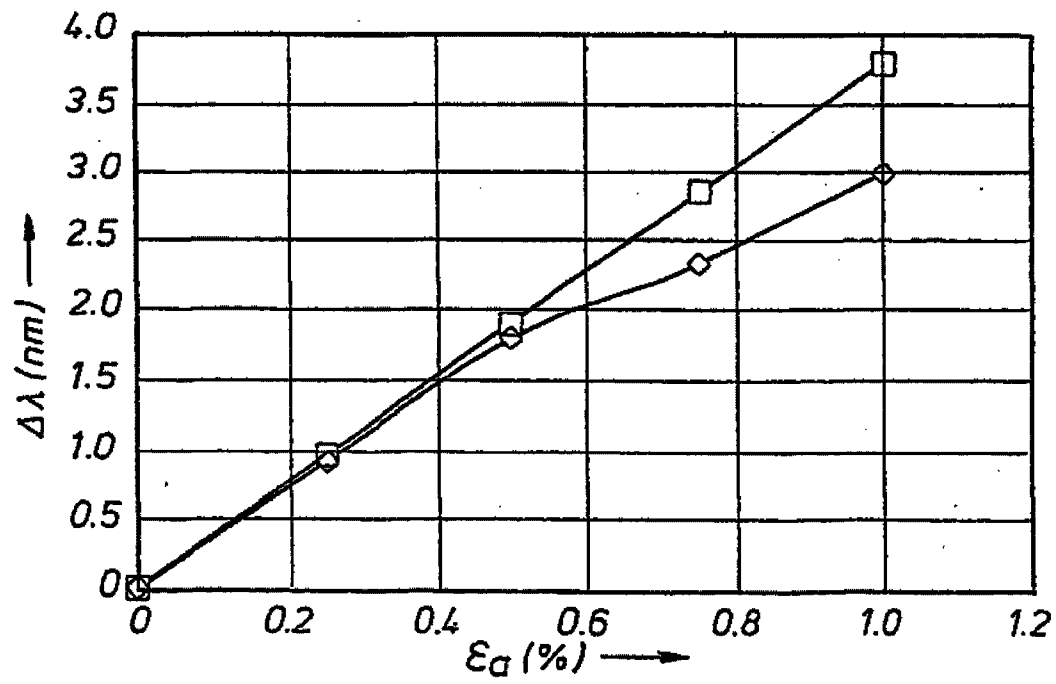


FIG.18



11/12

FIG. 19

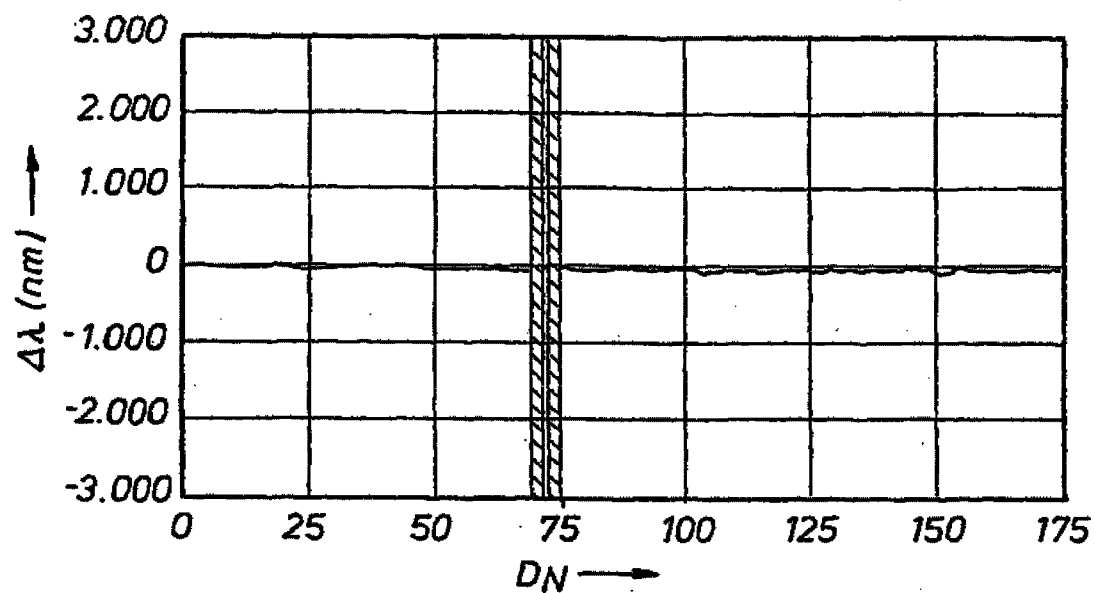
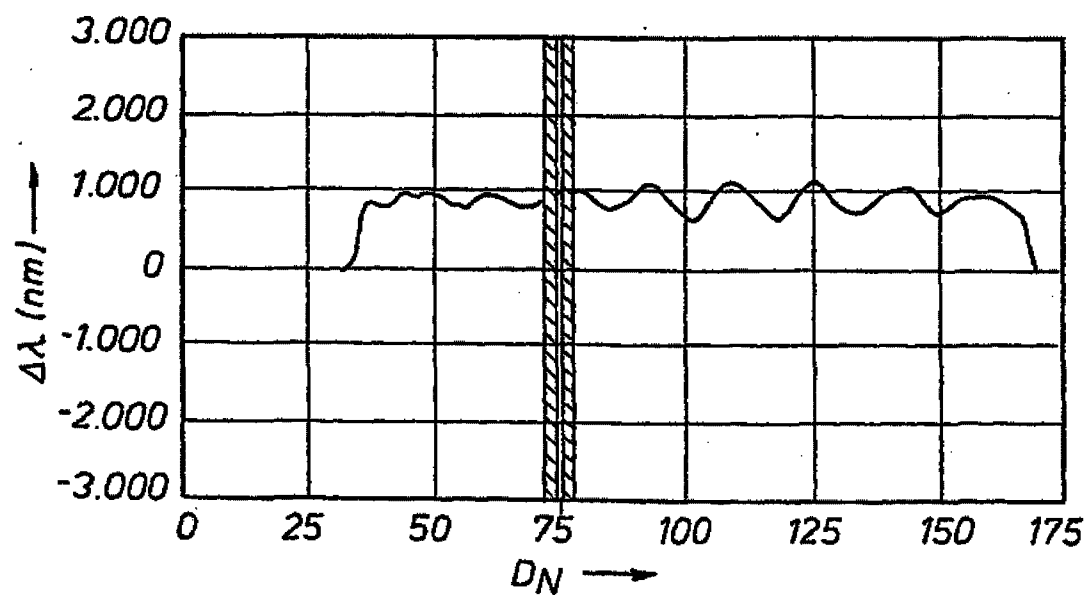


FIG. 20



12/12

FIG. 21

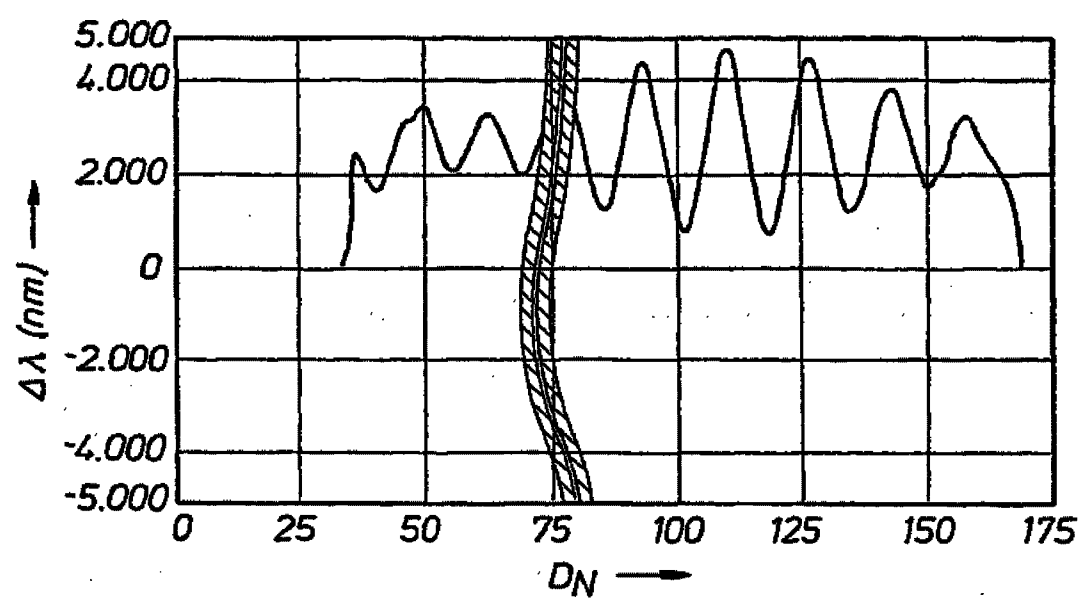


FIG. 23

