



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **303705**

(13) B1

(51) Int Cl<sup>6</sup> F 16 L 11/127

## Patentstyret

(21) Søknadsnr	19920055	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	17.05.1991, PCT/FR91/00403
(22) Inng. dag	03.01.1992	(85) Videreføringssdag	03.01.1992
(24) Løpedag	17.05.1991	(30) Prioritet	17.05.1990, FR, 9006186
(41) Alm. tilgj.	25.02.1992		
(45) Meddelt dato	17.08.1998		

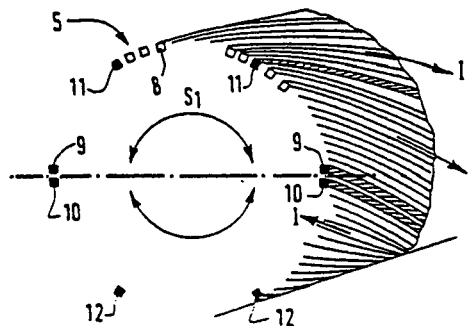
(73) Patenthaver	Coflexip SA, 88, avenue du Général-Leclerc, F-92100 Boulogne-Billancourt, FR
(72) Oppfinner	Jean-Michel Lequeux, Le Vesinet, FR
(74) Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, 0306 Oslo

(54) **Benevnelse**                    **Fleksibel rørformet ledning for transport av fluider under trykk**

(56) **Anførte publikasjoner**    SE B 461054, US 3853149, US 4364418

(57) **Sammendrag**

Fleksibel rørledning for transport av fluider under trykk, omfattende en ytre rørformet mantel, forsterkende armering, en indre slange eller bøyelig rørformet mantel, og eventuelt i det minste én mellomliggende rørformet mantel, samt oppvarmningsmidler i form av elektrisk ledende tråder som er koblet til en elektrisk kraftkilde og produserer varme ved Joule-effekt, idet nevnte tråder er anordnet langs lengden av rørledningen. Rørledningen omfatter en flerhet av elektriske ledere (8) som er anordnet i i det minste ett lag (5) i hvilket lederne forløper innbyrdes parallelt og er viklet spiralformet om rørledningsaksen, idet laget/lagene av ledere er plassert mellom to av rørledningens fleksible rørformede mantler, uten at lederne er koblet sammen, og idet hver av lederne hviler med flatekontakt mot den underliggende rørformede mantel.



Foreliggende oppfinnelse vedrører en fleksibel rørformet ledning av den art som er angitt i den innledende del av det vedføyde patentkrav 1, samt en anvendelse derav.

5 Ved eksempler på bruk av rørledninger ifølge oppfinnelsen, bør nevnes de fleksible rørledninger som benyttes for transport av hydrokarboner i oljeproduserende installa-  
sjoner, spesielt undervanns (off-shore) produksjons-  
10 installasjoner, eller rørledninger for transport av hydrokarboner, spesielt i arktiske områder hvor det er nødvendig å varme opp rørledningen permanent, eller alternativt å gjenoppvarme det transporterte fluid, f.eks. for å få det til å flyte igjen etter en stillstand som har forårsaket at det transporterte fluid har frosset.

15

Rørledninger, slik betegnelsen benyttes i foreliggende oppfinnelse, er selvsagt ikke begrenset til transport av hydrokarboner, og kan også benyttes for transport av forskjellige produkter, så som naturprodukter som må holdes  
20 på en noenlunde høy temperatur, f.eks. oljeaktige produkter, og rørledningene vil også kunne benyttes i andre forbindelser, f.eks. som rørledninger for å ta prøver innen raffineringsindustrien, eller mer generelt innen den kjemiske industri.

25

Det er allerede kjent mange eksempler på utførelser av fleksible rørledninger med elektriske ledere som er innstøpt i isolerende strukturer, så som et elastomert materiale, eller mantlede metall-ledere som er anordnet langs-  
30 med rørledningen.

De kjente løsninger er relativt tilfredsstillende for rørledninger med kort lengde, som ikke krever meget gode mekaniske egenskaper, men er ikke hensiktsmessige, spesielt  
35 når det gjelder transport av fluider som hydrokarboner ved høye trykk og/eller på store dyp ved rørledningsseksjoner av stor lengde, spesielt større dyp enn 1 000 m.

Rørledningene som benyttes for dette formål, må spesielt ha meget gode mekaniske egenskaper, spesielt strekkfasthet, trykkfasthet og motstandsdyktighet mot det innvendige trykk av det transporterte fluid.

Videre har lederne som er innstøpt i et elastomert materiale, eller er mantlet, og som man finner ved kjente oppvarmede rørledninger, relativt små metallseksjoner og er beheftet med ulempen ved begrensninger når det gjelder den varmestrøm som avgis og når det gjelder den mulige lengde av en kontinuerlig rørledningsseksjon, og også ulempen ved å operere ved en relativt høy ledertemperatur, med dårlige egenskaper for distribusjon og overføring av varme til det transporterte fluid.

Søkeren har allerede foreslått å oppvarme fluidet som transporteres i slike rørledninger, og har således i FR-A-2,423,707 beskrevet en rørledning som omfatter mantlede varmetråder som er innbygget i metallprofiler i form av hule rektangulære seksjoner som er plassert mellom de massive metalltråder som utgjør en armering som bibringer rørledningen strekkfasthet.

Ikke desto mindre medfører denne løsning, som gjør det mulig å tilveiebringe en varmerørledning med meget gode mekaniske egenskaper, den ulempe at den oppvarmningsevne som kan oppnås er relativt begrenset, spesielt på grunn av lederens lille varmespredningsflate. Den maksimale lengde av hver seksjon er forholdsvis liten, i praksis begrenset til 1 000 m, og fremstillingen og installasjonen av spesielle hulprofiler øker produksjonsomkostningene for den fleksible rørledning betydelig.

Foreliggende oppfinnelse foreslår å tilveiebringe en fleksibel rørledning som spesielt kan benyttes for transport av fluider under trykk, og som omfatter Joule-effekt opp-

varmningsanordninger i form av elektriske ledere som er anordnet over rørledningens lengde og medfører den fordel, sammenlignet med kjente løsninger, at det overføres en betydelig større varmestrøm, som er godt fordelt rundt rørleningen, til det transporterte fluid, og å tilveiebringe rørleninger med meget større kontinuerlig lengde uten noen mellomliggende elektrisk forbindelse, uavhengig av forbindelsene ved de to ender av hver rørledningsseksjon.

- 10 Den fleksible rørledning ifølge oppfinnelsen er hovedsakelig karakterisert ved de trekk som er angitt i den karakteriserende del av det vedføyde patentkrav 1.

Ifølge oppfinnelsen er det således tilveiebragt i det minste ett oppvarmningslag, eller mer nøyaktig, slik det vil bli forklart senere, oppvarmningssektorer bestående av ledere som er anordnet side om side med en viss sideveis funksjonell klaring og som har betydelige varmerspredningsflater i kontakt med den underliggende mantel, og følgelig i retning av det fluid som transporteres i den fleksible rørledning.

For å øke varmespredningsflaten er hver av lederne hensiktsmessig en metallprofil, fortrinnsvis umantlet, hensiktsmessig med massivt tverrsnitt og med ikke-sirkulær form, f.eks. oval, elliptisk, avflatet eller polygonal, spesielt rektangulært eller avflatet tverrsnitt.

Lagets eller hvert lags ledere kan ganske enkelt være anordnet mellom de motstående flater av mantlene de er plassert mellom, eller alternativt være anbragt i spor med tilsvarende tverrsnitt som er utformet i minst én av de motstående flater av mantlene.

35 Denne utførelse muliggjør spesielt å benytte ledere med sirkulært tverrsnitt, eller med et tverrsnitt som er tilnærmet sirkulært, samtidig som man sikrer stor varmeover-

føringsflate i retning av det underliggende lag.

Lederne er koblet til en kilde for elektrisk energi ved den ene av sine ender, eller eventuelt ved begge sine ender, idet tilkoblingen gjennomføres ved å forbinde ledere som forløper på tvers av koblingsstykket som er montert ved den nevnte ende, eller, når det er nødvendig, de to koblingsstykker.

10 Den elektriske tilførsel til lederne ved den fleksible rørledning ifølge oppfinnelsen kan skje fortrinnsvis ved likestrøm eller trefaset vekselstrøm.

Ved en første utførelsesform med likestrømtilførsel er det anordnet ett enkelt lag av ledere. Flere alternative utførelsesformer er da mulig.

Ved en første alternativ utførelse er laget delt opp i to sektorer av ledere som er utført av samme ledende materiale og med samme tverrsnitt, idet hver sektor strekker seg over hovedsakelig 180° og lederne i hver sektor er parallellkoblet og lederne av den ene sektor er seriekoblet med lederne i den andre sektor.

25 Lederne i én av sektorene sikrer tilførselen av elektrisk strøm i én retning langs den fleksible rørledning, mens lederne i den andre sektor sikrer retur av strømmen.

De forskjellige sektorer er hensiktsmessig innbyrdes adskilt ved isolasjon, spesielt i form av staver av elastomert materiale eller en plastomer, hvilke staver er anordnet mellom lederne i de forskjellige sektorer, idet det er mulig å anordne komplementære isolasjonsstaver mellom de elektriske ledere innenfor samme elektrisk ledende sektor. Istedenfor staver er det mulig å anordne isolerende belegg på sektorenes endeledere på i det minste den flate som vender mot lederen av den tilgrensende sektor. Antallet

av staver eller isolasjonsbelegg er ikke desto mindre begrenset slik at det totale flateareal av lederne som står i kontakt med den underliggende mantel er større enn 30%, og fortrinnsvis større enn 50% av omkretsen av den nevnte mantel. I praksis vil det være hensiktsmessig å velge en verdi større enn 70% og muligens så høy som 90%.

I en andre alternativ utførelse er det anordnet en første sektor av ledere som mates i parallell og er fremstilt av samme ledende materiale, og en andre sektor bestående av ledere som mates i parallell og er fremstilt av et annet ledende materiale.

Ved egnet valg av de metallmaterialer som utgjør de to sektorer av ledere blir det mulig å optimalisere dimensjoneringen av oppvarmningslaget og strømtilførselens karakteristika, avhengig av de materialer som kan benyttes for fremstilling av lederne.

Søkeren har funnet at denne ytelse blir optimalisert ved bruk av ledere som alle har samme tverrsnitt og befinner seg i hver av sektorene i et antall av  $N_a$  hhv.  $N_b$ , slik at:

25

$$N_a/N_b = \sqrt{\rho_a/\rho_b}$$

hvor  $\rho_a$  og  $\rho_b$  er resistiviteten av de materialer lederne i de to sektorer består av.

30

Av materialer som kan benyttes for å fremstille metalldene for rørledningene ifølge oppfinnelsen kan nevnes karbonstål, rustfritt stål, aluminiumlegeringer, kobber eller messing, idet det, som nettopp nevnt, vil forstås at disse materialer kan benyttes for å tilveiebringe sektorer fremstilt av forskjellige materialer, hvor kombinasjoner av karbonstål og rustfritt stål, stål og aluminiumlegering,

35

aluminiumlegering og messing, og messing og kobber kan komme i betraktning.

Ved en tredje alternativ utførelse er alle lederne i laget  
5 fremstilt av samme ledende materiale og er alle anordnet parallelt, idet den elektriske strøm returnerer ved hjelp av en separat elektrisk leder.

Ved en andre utførelsesform er det anordnet to lag med le-  
10 dere som hvert er anordnet mellom to fleksible rørformede mantler av rørledningen, idet hvert av lagene er anordnet som beskrevet ovenfor og er innrettet slik at alle ledere i ett av lagene er montert i parallell og sikrer strømføring i én retning langs rørledningen, mens lederne i det  
15 andre lag, som likeledes er montert innbyrdes parallelt, men i serie med hensyn på lederne i det første lag, sikrer retur av strømmen.

I tilfellet av trefaset vekselstrømtilførsel er ett enkelt  
20 lag av elektriske ledere, ifølge én utførelse, delt opp i tre separate sektorer ved hjelp av isolasjonsmidler, spesielt plaststaver eller elastomere staver, idet lederne i hver sektor er montert i parallell i forbindelse med én fase av strømtilførselen.

25

De elektriske ledere i lagene ifølge oppfinnelsen kan vikles i vindinger om rørledningsaksen i alle ønskede konfigurasjoner som ikke innvirker på rørledningens mekaniske egenskaper, spesielt dens fleksibilitet, f.eks. i en "SZ"-  
30 konfigurasjon, m.a.o. med periodisk retningsendring av lederens vindinger, eller hensiktsmessig en skrulelinjeformet konfigurasjon rundt rørledningen, idet lederne vikles i kontinuerlige skruelinjer med konstant stigning.

35 I tilfellet av at rørledningen som forsterkende armering omfatter en armering som er motstandsdyktig både mot strekk og mot radiale krefter fra det innvendige trykk, og

f.eks. består av to kryssende lag, som hvert består av tråder som er anordnet skruelinjeformet om rørledningen med samme armeringsvinkel på  $55^\circ$  med hensyn på rørledningsaksen, idet trådene i de to lag er viklet med motsatte vinkler med hensyn på rørledningsaksen, er lederne som utgjør laget eller hvert lag av varmetråder ifølge oppfinnelsen fortrinnsvis anordnet på den indre mantel, innenfor armeringen, og viklet i kontinuerlige skruelinjer med en armeringsvinkel på mindre enn  $55^\circ$ , idet forskjellen mellom denne vinkel og  $55^\circ$  kan være liten. f.eks. bare noen få grader.

I tilfellet av at den fleksible rørledning omfatter en trykkfast armering (trykkbue) som er viklet spiralformet, og utenfor buen en strekkfast armering med en armeringsvinkel på mindre enn  $55^\circ$ , er de elektriske ledere fortrinnsvis anordnet mellom trykkbuen og strekkarmeringen, med en mellomliggende mantel på hver side, og er viklet i kontinuerlige skruelinjer med en armeringsvinkel som er større enn vinkelen av strekkarmeringene, idet forskjellen mellom vinklene fortrinnsvis er minst  $10^\circ$ .

I alle tilfeller forblir temperaturen under bruk av lederne i oppvarmningslagene relativt lav og bare ubetydelig høyere enn temperaturen av innerveggen av den fleksible rørledning, og enn temperaturen av det transporterte fluid, idet det er mulig at temperaturdifferansen normalt kan være mindre enn  $1^\circ\text{C}$ .

30 Dette resulterer i den fordel at økningen av den temperatur som dannes ved Joule-effekten i lederne, ikke utgjør noen risiko for at materialene i mantlene eller plastrør som finnes i veggen av den fleksible rørledning skal utsettes for en for høy temperatur.

35

Videre gjør denne egenskap ved den fleksible rørledning

ifølge oppfinnelsen det mulig, basert på måling av de elektriske parametre for styrke- og/eller potensialdifferanser, med stor nøyaktighet og kontinuitet umiddelbart å måle temperaturen av det transporterte fluid, inkludert  
5 under den midlertidige innledende fase av en temperaturstigning.

I det spesielle tilfelle f.eks. av likestrømtilførsel, hvor potensialdifferansen er fast, gjør måling av styrken  
10 det mulig å bestemme den momentane verdi av lederlagets elektriske motstand, og følgelig verdien av resistiviteten av dettes ledere, som selv er en funksjon av temperaturen av lederne på dette tidspunkt. Da temperaturen av lederne alltid ligger meget nær temperaturen av det transporterte  
15 fluid, blir det derfor mulig direkte å konvertere målingen av strømstyrken til en verdi for temperaturen av det transporterte fluid, idet det blir mulig å oppnå en nøyaktighet av den således oppnådde måling i størrelsesordenen  $1^{\circ}\text{C}$ .

20  
Fleksible rørformede mantler ifølge oppfinnelsen er ment å skulle betegne mantler fremstilt av et plastisk eller elastomert materiale som utgjør den konvensjonelle oppbygning av den fleksible rørledning og/eller av de ytterligere rørformede mantler som blir anordnet innenfor rammen for utførelsen av oppfinnelsen for å sikre den elektriske isolasjon på nivået for laget eller lagene av ledere, idet det er nødvendig at i det minste én av mantlene som er anordnet utenpå laget eller lagene av ledere er  
25 lekkasjetett.  
30

En mantel ifølge oppfinnelsen er ment å betegne ikke bare et rørformet lag anordnet på konvensjonell måte ved ekstrudering, men også et lag som kan anordnes på enhver  
35 egnet måte, spesielt ved omvikling.

Den fleksible rørledning ifølge oppfinnelsen kan hensikts-

messig ved sin periferi være forsynt med en varmeisolerende konstruksjon som forhindrer tap til yttersiden av varmen som er frigjort ved Jouleffekt, idet det er mulig å benytte en isolerende konstruksjon av f.eks. samme type  
5 som den som er beskrevet i FR-A-2,563,608, som søkeren er medeier av.

For bedre forståelse av oppfinnelsen, vil nå forskjellige utførelsesformer av denne bli beskrevet ved hjelp av ikke-  
10 begrensende eksempler under henvisning til de vedføyede tegninger, hvor

fig. 1 viser oppriss, delvis i snitt og delvis avskrellet av en rørledningskonstruksjon ifølge oppfinnelsen,  
15

fig. 2 viser en illustrerende utførelse av et oppvarmingslag ifølge oppfinnelsen,

fig. 3 viser tverrsnitt av en andre illustrerende utførelse av en fleksibel rørledning ifølge oppfinnelsen,  
20

fig. 4 - 6 viser alternative oppvarmingslag ifølge oppfinnelsen,

25 fig. 7 viser, på samme måte som fig. 1, en annen rørledningskonstruksjon ifølge oppfinnelsen, med to oppvarmingslag,

fig. 8 viser en illustrerende utførelse av en oppvarmingskonstruksjon med to lag av ledere, og  
30

fig. 9 og 10 viser riss i likhet med fig. 1 og 7, av andre utførelsesformer av fleksible rørledninger ifølge oppfinnelsen.

35

Et eksempel på en fleksibel rørledning er vist på fig. 1, hvilken rørledning spesielt kan benyttes for å transporte-

re fluider under trykk, spesielt så som hydrokarboner som er produsert under drift av undervanns oljebrønner.

5 Søkeren produserer og markedsfører slike rørledninger i store lengder, som har meget gode mekaniske egenskaper, spesielt strekkfasthet, trykkfasthet og motstandsdyktighet mot innvendig trykk av det transporterte fluid.

Rørledningen vist på fig. 1 er av glattboret type og omfatter en fleksibel ytre rørformet mantel 1, f.eks. fremstilt av en plast, f.eks. polyamid, polyetylen, eller et materiale i PVDF-gruppen, eller av et elastomert materiale, som utgjør en utvendig beskyttende kledning for rørledningen, en strekkfast armering 2 bestående av to kryssende lag som hvert består av tråder som er anordnet skruelinjeformet rundt rørledningen og med samme armeringsvinkel, idet trådene i de to lag er viklet med motsatte vinkler med hensyn på rørledningsaksen, en trykkfast armering 3 som er vist i form av et lag av stålbånd som er forbundet ved brettet søm, men som i praksis kan omfatte 20 ett eller flere lag av stålbånd som er forbundet ved brettet søm eller av profilerte tråder som er viklet spiralformet med en vinkel på nær 90° med hensyn på rørledningsaksen, og et fleksibelt innvendig rør 4 fremstilt av termoplastisk materiale, så som polyamid, polyetylen 25 eller PVDF eller en annen polymer.

Hensiktsmessig omfatter den fleksible ytre rørformede mantel 1 et termoiserende skikt, f.eks. en ekspandert 30 plast, så som PVC-skum, hvor dette skikt fortrinnsvis er beskyttet ved hjelp av en lekkasjetett underliggende mantel fremstilt av kompakt plast og den ytre beskyttelsesmantel av den fleksible rørledning, som likeledes er lekkasjetett og fremstilt av kompakt plast.

35 Ifølge oppfinnelsen er det mellom den strekkfaste armering 2 og den trykkfaste armering 3 anordnet et oppvarmingslag

5 som er plassert mellom to fleksible rørformede mantler 6 og 7, som likeledes kan være fremstilt av et materiale fra samme grupper som materialet i de indre og ytre rørformede mantler, eller av et materiale som fremmer de elektriske isolasjonsegenskaper som kreves, ved ekstrudering eller ved vikling av bånd.

En illustrerende utførelse av oppvarmningslaget 5 er vist på fig. 2.

10

Dette lag 5 består av en flerhet av metall-ledere 8 som i det viste eksempel har rektangulært tverrsnitt og er anordnet side om side med en viss funksjonell klaring og delt i to halvsirkelformede sektorer S1, S2 ved hjelp av isolasjons-staver 9, 10 som i praksis kan ha samme tverrsnitt som lederne.

Mellomliggende isolasjonsstaver 11, 12 kan være anordnet mellom ledere i samme sektor.

20

Isolasjonsstavene 9, 10 og de mellomliggende staver 11, 12 har fortrinnsvis en tykkelse som er lik eller litt større enn tykkelsen av lederne, og kan ha samme enhetlige bredde som lederne. De kan være fremstilt av forskjellige plastmaterialer, så som polyamid, polyetylen, polypropylen e.l.

Som skjematisk vist ved pilene 1 på tegningene, sikrer lederne i sektor S1 strømføring i én retning langs rørledningen, mens lederne i den andre sektor S2 sikrer strømføring i den annen retning.

F.eks. i tilfellet av en innvendig diameter av rørledningen på 203 mm og en utvendig termoisolasjon med en tykkelse på 24 mm, oppnås det for en fleksibel rørledning, som vist på fig. 1 og 2, en temperaturdifferanse på 50°C mellom det omgivende miljø (sjøvann med f.eks. 15°C) og det trans-

35

porterte fluid (råolje som holdes på 65°C), med en strømstyrke på 250 A og et spenningsfall på 392 mV/m rørledning.

5 I dette tilfelle anvendes ledere 8 av karbonstål med et avflatet rektangulært tverrsnitt på 6 mm x 1,6 mm i et antall av 60, armert ved en vinkel på 55°, med en midlere sideveis klaring på 5%, idet armeringsvinkelen for ståltrådene som utgjør de to lag av strekkfast armering 2 er  
10 35°.

Det er således mulig å vedlikeholde temperaturen av en 5 000 m lang kontinuerlig rørledningslengde med en strømtilførsel som har en strømstyrkedifferanse på 1,960 V ved  
15 å koble én av endene av den fleksible rørledning til en elektrisk strømkilde som f.eks. er anbragt på en overflateplattform, eller ved undervanns tilkobling til koblingslederne som er forbundet med rørledningens ledere, og som er montert i endekoblingsstykket og koblet til en lekka-  
20 sjetett utvendig sokkel.

Ved likestrømtilførsel er det, ved utførelsen på fig. 1, også mulig å benytte de utførelser av oppvarmningslagene som er vist på fig. 5 og 6 og som vil bli beskrevet senere.  
25 re.

Fig. 3 viser et forenklet alternativ av en grovboret konstruksjon som omfatter et innvendig legeme 13 bestående av en konvensjonell type av skruelinjeformet vikling med li-  
30 ten stigningsvinkel, av én eller flere profiler som kan forbindes ved brettet søm, spesielt fremstilt av stålband, idet dette legeme er beregnet på å forhindre at den fleksible rørledning trykkes sammen, å beskytte den innvendige mantel, for avtetting overfor angrep av de transporterte  
35 produkter, og for risikoen for implosjon i tilfellet av rask dekompresjon under transporten av produkter som inne-

holder gass, av en innvendig fleksibel rørformet mantel 4', og av en fleksibel rørformet ytre mantel 1 som kan være lik den mantel med en termoisolasjon som er beskrevet under henvisning til fig. 1.

5

I dette eksempel har lederne 14 et hovedsakelig elliptisk tverrsnitt og er anbragt i spor utformet i periferien av den indre mantel 4', fortrinnsvis uten at de er festet til denne ved klebning.

10

I dette eksempel er lederne likeledes anordnet i to halvsirkelformede sektorer S1 og S2, idet det ikke er anordnet noen ytterligere isolasjonsstav på grunn av anordningen av lederne 14 i forhold til mantlene 1 og 4' de er plassert mellom.

15

Fig. 4 viser en illustrerende utførelse av et oppvarmingslag som mates med trefaset strøm og hvor lederne 15, som kan ha samme tverrsnitt som lederne 8 i eksempelet på fig. 2, som lederne 14 i eksempelet på fig. 3, eller et annet egnet tverrsnitt, er fordelt i tre sektorer S'1, S'2, S'3 som er adskilt ved grupper av isolasjonsstaver 16, idet den viste utførelse omfatter fire isolasjonsstaver mellom lederne i de tre sektorer, hvor hver av sektorene svarer til én strømfase. På grunn av den trefasede vekselstrømtilførsel er det ikke nødvendig å anordne noe middel for å returnere strømmen, idet de tre sektorer S'1, S'2, S'3 av ledere som er montert i parallell er sammenkoblet ved den ende av den fleksible rørledning som ligger motsatt den ende hvor de er forbundet med den ytre strømkilde.

20

25

30

Laget 5 som er dannet av de tre sektorer av ledere 15 kan være anordnet inne i den fleksible konstruksjon vist på fig. 10. Denne konstruksjon er av den grovborede type og omfatter et indre legeme 13, som definert i forbindelse med fig. 3, en indre avtettningmantel 4" som avstøttes mot

35

legemet 13 og på hvilken laget 5 av ledere 15 er plassert. Oppvarmningslaget 5 er ved hjelp av en fleksibel, rørformet mellomliggende mantel 6 adskilt fra de to armeringsmantler 2, som er armert i motsatte retninger med en vinkel på 55° og sikrer at den fleksible rørledning kan motstå det innvendige trykk og aksialkreftene, mens den utvendige beskyttelse sikres ved hjelp av en fleksibel ytre, rørformet mantel 1 som hensiktsmessig er fremstilt med et termoiserende skikt.

10

Med en innvendig rørledningsdiameter på 152 mm og en termoiserasjon av yttermantelen på 20 mm er det mulig å oppnå en temperaturdifferanse på 50°C. I dette tilfelle foreligger det tre sektorer, som hver har 18 ledere som er fremstilt av kobber og har et avflatet tverrsnitt på 6 mm x 1,6 mm og er armert med en vinkel på 45°. Bortsett fra de tre grupper med fire isolasjonsstaver 16 mellom sektorene, er det ingen mellomliggende stav mellom de forskjellige ledere i hver av de tre sektorer. Den forbrukte effektive strømstyrke pr. fase er 451 A, og det er mulig å fremstille en kontinuerlig rørledning på 3 200 m med en tilførsel på 380 V.

20

Utførelsen på fig. 5 omfatter sett av ledere 17 som mates med likestrøm og som kan ha samme tverrsnitt som dem som er beskrevet ovenfor, eller et hvilket som helst annet egnet tverrsnitt, og som er delt i grupper ved hjelp av isolasjonsstaver 18.

25

Ved denne utførelse er alle ledere 17 parallellkoblet og sikrer strømføring i én retning over rørledningens lengde. På grunn av likestrømnetningen er det for retur av strømmen, uavhengig av rørledningskonstruksjonen, nødvendig å anordne en ytterligere leder (ikke vist) som er koblet i serie med lederne 17.

30

35

I tilfellet av en glattboret konstruksjon med en innvendig diameter på 203 mm og med en termoisolasjon med en tykkelse på 24 mm for yttermantelen, oppnås det en temperaturredifferanse på 50°C ved en strømstyrke på 500 A. Spenningsfallet blir da 196 mV/m rørledning, noe som gjør det mulig å fremstille en kontinuerlig rørledning med en lengde på 10 000 m med en potensialdifferanse på 1960 V. I dette tilfelle er det benyttet 60 avflatete, rektangulære stålledere på 6 mm x 1,6 mm, som på fig. 1, som likeledes er armert med en vinkel på 55°.

Ved utførelsen på fig. 6, som likeledes tilsvarer bruk av likestrøm, er det anordnet to sektorer Sa og Sb av ledere 19 og 20 med samme tverrsnitt, hvor lederne 19 og 20 er fremstilt av forskjellige metall-materialer. De to sektorer er adskilt ved sett av isolasjonsstaver 21, og innenfor samme sett er lederne med intervaller adskilt ved mellomliggende isolasjonsstaver 22.

I tilfellet av en grovboret konstruksjon med en innvendig diameter på 203 mm og en termoisolasjon med en tykkelse på 12 mm for yttermantelen, oppnås en temperaturredifferanse på 50°C med en strømstyrke på 574 A og et spenningsfall på 307 mV/m rørledning. I dette tilfelle består sektoren Sa av 18 kobberledere og sektoren Sb av 46 karbonstålledere, idet alle ledere har et avflatet rektangulært tverrsnitt på 6 mm x 1,6 mm og er armert med en vinkel på 40°, og den avstivende armeringskonstruksjon består av to lag av ståltråder som er armert i motsatte retninger med en vinkel på 55° (som vist på fig. 10). Isolasjonen mellom to sektorer sikres ved hjelp av to grupper av staver 21, hver med fire staver, og med ytterligere totalt ni mellomliggende staver 22.

Den fleksible rørledning vist på fig. 7 er lik den som er vist på fig. 1, men omfatter to lag oppvarmningsledere 5a

og 5b mellom hvilke det er anordnet en ytterligere isolasjonsmantel 23.

På fig. 8 er vist en detaljert konstruksjon av de to oppvarmningslag, som hvert her er av samme type som oppvarmningslaget 5 ifølge fig. 5.

Ved samme konstruksjon med en innvendig diameter på 203 mm og samme termoisolasjon som for konstruksjonene på fig. 1 og 2, oppnås en temperaturdifferanse på 50°C ved en strømstyrke på 385 A og et spenningsfall lik 285 mV/m rørledning. I dette tilfelle omfatter laget 5a 62 stålledere og 6 mellomliggende staver, og laget 5b 66 stålledere og 6 mellomliggende staver, hvor lederne og stavene alle har samme avflatede rektangulære tverrsnitt på 6 mm x 1,6 mm.

Ett av oppvarmningslagene, med likestrømtilførsel, sikrer strømføring i én retning langs rørledningen, mens det andre lag sikrer retur av strømmen.

20

Som et alternativt ville hvert av lagene 5a og 5b kunne være konstruert som vist på fig. 2 (hvor hvert lag omfatter to sektorer med motsatte strømretninger og samme type metall i alle ledere), eller alternativt ville ett av de to lag kunne være av samme konstruksjon som vist på fig. 6 (hvor lederne i en første sektor som sikrer strømføring i én retning er fremstilt av et første metall, mens lederne i den andre sektor som sikrer strømføring i den annen retning er fremstilt av et annet metall).

30

Utførelsen på fig. 9 adskiller seg hovedsakelig fra den på fig. 1 og 2 ved at oppvarmningslaget 5, som er anordnet mellom mantlene 1 og 7, er anbragt utenfor strekkarmeringen 2, mens det var anbragt innenfor dette på utførelsen ifølge fig. 1.

35

Ved en innvendig diameter av rørledningen på 152 mm og en

termoisolasjon på 2 mm for yttermantelen, tilveiebringer en likestrømstyrke på 95 A en temperaturdifferanse på 50°C for et spenningstap på 918 mV/m rørledning. Det blir således mulig å fremstille en kontinuerlig rørledning med en  
5 lengde på 2 000 m med en tilførsel på 1836 V. I dette tilfelle er det benyttet 54 ledere av rustfritt stål med rektangulært tverrsnitt på 6 mm x 1,6 mm, som er armert med en vinkel på 55°, to grupper med hver to isolasjonsstaver for å adskille de to sektorer og nitten mellomliggende  
10 staver.

I alle utførelser svarer den sideveis klaring mellom lederne, som er anordnet side ved side og danner ett eller flere lag, til de midlere verdier for den frie avstand  
15 mellom tilgrensende tråder når det gjelder de strekkfaste armeringslag som benyttes ved kjente fleksible rørledninger, spesielt når disse strekkfaste tråder er metalltråder som er anordnet skruelinjeformet mellom et indre og et ytre skikt uten å være innstøpt i et elastomert materiale eller et plastmateriale, som svarer til f.eks. utførelsen med fleksible rørledninger med løse lag av den type  
20 som produseres av søkerens firma. Denne klaring er spesielt bestemt slik at rørledningen bibeholder all sin motstandsdyktighet mot det innvendige trykk og de andre kref-ter som virker, og all sin holdbarhet, samtidig som den har den nødvendige fleksibilitet, og likeledes som en funksjon av produksjonskravene. Den funksjonelle sideveis klaring ligger under disse forhold normalt mellom 1% og 20%, og fortrinnsvis mellom ca. 3% og 12%, idet det er mulig å la den variere som en funksjon av armeringsvinkelen (klaringen sideveis blir definert ut fra den midlere verdi av forholdet mellom bredden av tråden og den bredde som  
30 opptas av en tråd).

35 Som et resultat av det arbeide søkeren har nedlagt i å studere konstruksjonene av fleksible rørledninger, har man funnet at denne funksjonelle klaring er slik at den gjør

det mulig å unngå sonene med kontinuerlig kontakt mellom ledere til tross for deformasjonene som påføres ved håndteringsoperasjonene og arbeidsforholdene når rørledningen er i drift. Det er bemerket at det ved den fleksible rørledning ifølge oppfinnelsen på denne måte oppnås god sirkulasjon av den elektriske strøm langs hver av lederne, og i de forskjellige situasjoner den fleksible rørledningen kan bli utsatt for under bruk, spesielt ved utvinning av olje, til tross for håndteringsoperasjoner og, spesielt, de innvendige trykkforhold, den statiske eller dynamiske innbøyning av rørledningen, de aksiale belastninger, trykkpåvirkninger og vibrasjoner.

Ved således å ha oppdaget at tråder lik trådene i de mekanisk sterke armeringslag og anordnet på samme måte, effektivt kan benyttes som elektriske ledere for oppvarming av rørledningen ved Joule-effekt, og ved videre å ha funnet at det således blir mulig å optimalisere betingelsene for overføringen av den avgitte varme og de elektriske ledningskarakteristika, er det derfor blitt mulig å fremstille lagene av oppvarmningsledere ved å benytte konstruksjonselementer og armeringsmetoder lik dem som allerede benyttes for mekanisk sterke armeringer, og som medfører en dobbelt fordel:

25

a) bruk av en gjennomprøvet teknikk som har vist seg å være meget pålitelig, hvilket er spesielt viktig i tilfellet av fleksible rørledninger som må ha meget gode mekaniske egenskaper for utvinningen av olje til sjøs.

30

b) bruk av samme produksjonsmidler for å fremstille de fleksible rørledninger, idet det er mulig direkte å benytte de eksisterende armeringsmaskiner.

35

Ved alle utførelser er det hensiktsmessig å utføre alle slike armeringer slik at de kan motstå alle kraftkomponenter som utøves på den fleksible rørledning, så som

virkningene av det innvendige trykk, virkningene av den aksiale belastning, av det utvendig trykk eller av sammentrykning, av torsjonsmoment, og at motstanden mot disse forskjellige kraftkomponenter sikres hovedsakelig ved  
5 hjelp av alle de forsterkende armeringer, slik at laget eller lagene av ledere bidrar forholdsvis lite til motstandsdyktigheten mot ytre krefter, og dette er tilfellet selv om disse lag tilsynelatende har samme egenskaper som egenskapene for noen av lagene som utgjør forsterknings-  
10 armeringene. Strekkpåkjenningene lederne kan bli utsatt for, er således begrenset til forholdsvis lave verdier, som fortrinnsvis ikke overskrider 10% av deres flytegrense. Et slikt resultat er oppnådd ved å endre den generelle konfigurasjon av konstruksjonen av den fleksible rørledning og de respektive egenskaper av laget eller lagene  
15 av ledere og de forskjellige forsterkende armeringslag, spesielt tykkelsen av trådene, armeringsvinklene og eventuelt de respektive Youngs moduler av trådene som utgjør de forskjellige lag. Visse generelle arrangementer av  
20 konstruksjonen av den fleksible rørledning som av denne grunn kan benyttes for rørledninger med 55° armeringsvinkel og for rørledninger med en trykkbue er beskrevet ovenfor.

Visse eksisterende eksperimentmodeller, f.eks. de som er utviklet av søkeren, gjør det mulig å utvikle en fleksibel  
25 rørledningskonstruksjon som tilfredsstillende de ovennevnte betingelser, og å kontrollere at spenningsnivået i lederne ligger betydelig under den grense som er fastlagt i hvert enkelt anvendelsestilfelle.

30 Ved å begrense spenningspåkjenningene på lederne på denne måte oppnås spesielt følgende to fordeler:

a) eliminering av risikoen for at lederne brekker som et resultat av for store påkjenninger eller som et resultat  
35 av utmattelse. Det er faktisk funnet at det, for å holde nivået for prestasjonsevnen av den oppvarmede fleksible rørledning ifølge oppfinnelsen stabilt over tid, er viktig

å sikre at det ikke foreligger noen risiko for at én av lederne skal brette.

b) det er mulig uavhengig og under optimale betingelser å optimalisere de forskjellige egenskaper av lagene av ledere, så som anordning og antall lag, form og dimensjoner av ledernes tverrsnitt, armeringsvinkel, materialtype, etc., mens andre dimensjoneringskrav ville ha måttet tas i betraktning hvis lederne skulle måtte bidra til den mekaniske styrke av den fleksible rørledning. Bedre tekniske virkningsgradnivåer og mer hensiktsmessige økonomiske resultater oppnås således ved å skille de respektive roller for oppvarmingslag og de mekanisk forsterkende lag. Ifølge oppfinnelsen, og i motsetning til kjente utførelsesformer, er det ikke nødvendig å tilveiebringe separate elektriske tilførsler til korte rørledningsseksjoner, idet strømoverføringen skjer fra den første ende av den første seksjon til den siste ende av den andre seksjon uten at det kreves tilførsel ved skjøtene mellom seksjoner, noe som gjør det mulig å tilveiebringe store ledningslengder på flere kilometer med én eneste strømtilførsel.

Den innvendige diameter av de fleksible rørledninger ifølge oppfinnelsen kan typisk ligge mellom 20 mm og 500 mm, og de mest vanlige anvendelser som kan komme i betraktning svarer til diametre som varierer fra 60 mm til 300 mm, med innvendige trykk som kan nå høye verdier, av størrelsesordenen 100 - 1 000 bar eller mer, som en funksjon av diametrene.

**P a t e n t k r a v**

1.    Fleksibel rørformet ledning for transport av fluider under trykk, omfattende en fleksibel ytre rørformet mantel, et sett av forsterkende armeringer, en fleksibel indre rørformet mantel eller et rør, og om nødvendig minste én mellomliggende fleksibel rørformet mantel, samt oppvarmningsorganer i form av elektrisk ledende tråder (8, 14, 15, 15, 17, 19, 20) som er innrettet å kunne kobles til en elektrisk kraftkilde og frigjøre varme ved Joule-effekten, idet de nevnte ledende tråder er parallelle i forhold til hverandre, spunnet i skureform rundt aksene av røret, og anordnet i minst ett lag (5, 5a, 5b) som er anordnet mellom to fleksible rørformede mantler av rørledningen (6, 7, 1, 4, 4', 4'', 23),
- 15    k a r a k t e r i s e r t    v e d    at de elektrisk ledende tråder ikke er koblet sammen med hverandre og med et lateralt mellomrom i området 1 % til 20 %, fortrinnsvis i området 3 % til 12 % mellom tiliggende tråder, og idet hver
- 20    av trådene avstøttes med flatekontakt mot den underliggende rørformede elektrisk isolerende mantel ( 7, 13, 23).
2.    Rørledning ifølge krav 1,
- 25    k a r a k t e r i s e r t    v e d    at hver av lederne (8, 14, 15, 17, 19, 20) er en metallprofil, fortrinnsvis med massivt tverrsnitt.
3.    Rørledning ifølge krav 2,
- 30    k a r a k t e r i s e r t    v e d    at hver av lederne er en umantlet metallprofil.
4.    Rørledning ifølge et av kravene 1 - 3,
- 35    k a r a k t e r i s e r t    v e d    at lederne har polygonalt tverrsnitt, spesielt et avflatet rektangulært tverrsnitt.

5. Rørledning som angitt i et av de foregående krav, karakterisert ved at kraftkilden for de elektrisk ledende tråder er en likestrømskilde.

5 6. Rørledning ifølge krav 5, karakterisert ved at den omfatter ett eneste lag (5) av ledere.

7. Rørledning ifølge krav 5, karakterisert ved at den omfatter i det minste ett lag (5) som er delt opp i to sektorer (S1, S2) av ledere som er fremstilt av samme ledende materiale og har samme tverrsnitt, idet hver av sektorene strekker seg over hovedsakelig 180°, idet lederne i hver av de respektive sektorer er parallellkoblet, og lederne av hver av de to sektorer er koblet i serie med lederne i den andre sektor.

8. Rørledning ifølge krav 5, karakterisert ved at den omfatter i det minste ett lag som er delt opp i en første sektor (Sa) av ledere som mates i parallell og er fremstilt av samme ledende materiale, og en andre sektor (Sb) bestående av ledere som mates i parallell og er fremstilt av et andre ledende materiale.

9. Rørledning ifølge krav 8, karakterisert ved at det respektive antall (Na) og (Nb) av ledere i de to respektive sektorer (Sa) og (Sb) er slik at:

$$N_a/N_b = \sqrt{\rho_a/\rho_b}$$

hvor  $\rho_a$  og  $\rho_b$  er resistiviteten av de materialer som utgjør lederne i de to sektorer.

35

10. Rørledning ifølge et av kravene 1 - 4,

k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter i det minste ett lag (17) av ledere, og ved at alle ledere i laget eller lagene er fremstilt av samme ledende materiale og er anordnet parallelt, idet den elektriske strøm blir  
5 returnert ved hjelp av en separat elektrisk leder.

11. Rørledning ifølge et av kravene 1 - 4,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter to lag av ledere (5a, 5b), som hvert er anordnet mellom to fleksible rørformede mantler av rørledningen, idet alle ledere  
10 i ett av lagene er parallellkoblet og sikrer strømføring i én retning langs rørledningen, og lederne i det andre lag likeledes er innbyrdes parallellkoblet, men i serie med hensyn på lederne i det første lag og sikrer retur av  
15 strømmen.

12. Rørledning ifølge et av kravene 1- 4,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at strømtilførselen til rørledningens ledere skjer med trefaset vekselstrøm, idet  
20 rørledningen omfatter ett eneste lag av ledere (15), hvilket lag er delt opp i tre sektorer (S'1, S'2, S'3), idet lederne i hver sektor er parallelkoblet til én fase av strømtilførselen.

25 13. Rørledning ifølge et av kravene 7 - 9 og 12,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at de forskjellige sektorer (S1, S2; Sa, Sb; S'1, S'2, S'3) er innbyrdes adskilt ved hjelp av isolasjonsorganer, spesielt i form av staver (9, 10, 16, 21) som er fremstilt av elastomert materiale  
30 eller en plastomer, hvilke staver er anordnet mellom lederne i de forskjellige sektorer.

14. Rørledning ifølge et av de foregående krav,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at isolasjonsorganene, spesielt i form av staver (11, 12, 19, 22) fremstilt av et elastomert materiale eller en plastomer, er anordnet mellom ledere eller grupper av ledere som sikrer strømføring

i samme retning.

15. Rørledning ifølge et av de foregående krav,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at lederne er viklet  
5 spiralformet om rørledningsaksen med skruelinjeformet kon-  
figurasjon, idet lederne er viklet i kontinuerlige skrue-  
linjer med konstant stigningsvinkel.

16. Rørledning ifølge et av de foregående krav,  
10 k a r a k t e r i s e r t v e d at lederne i laget eller  
lagene er anordnet slik at de mekaniske belastninger som  
induseres i lederne av kreftene som utøves på rørlednin-  
gen, er små.

15 17. Rørledning ifølge et av de foregående krav, hvor mon-  
tasjen av forsterkende armeringer omfatter en armering  
dannet av tråder som er anordnet skruelinjeformet rundt  
rørledningen med samme armeringsvinkel på  $55^\circ$  med hensyn på  
rørledningsaksen,  
20 k a r a k t e r i s e r t v e d at trådene i oppvarm-  
ningslaget eller -lagene er plassert på den indre mantel  
av rørledningen, innenfor nevnte armering, og er viklet i  
kontinuerlige skruelinjer med en armeringsvinkel på mindre  
enn  $55^\circ$ .

25

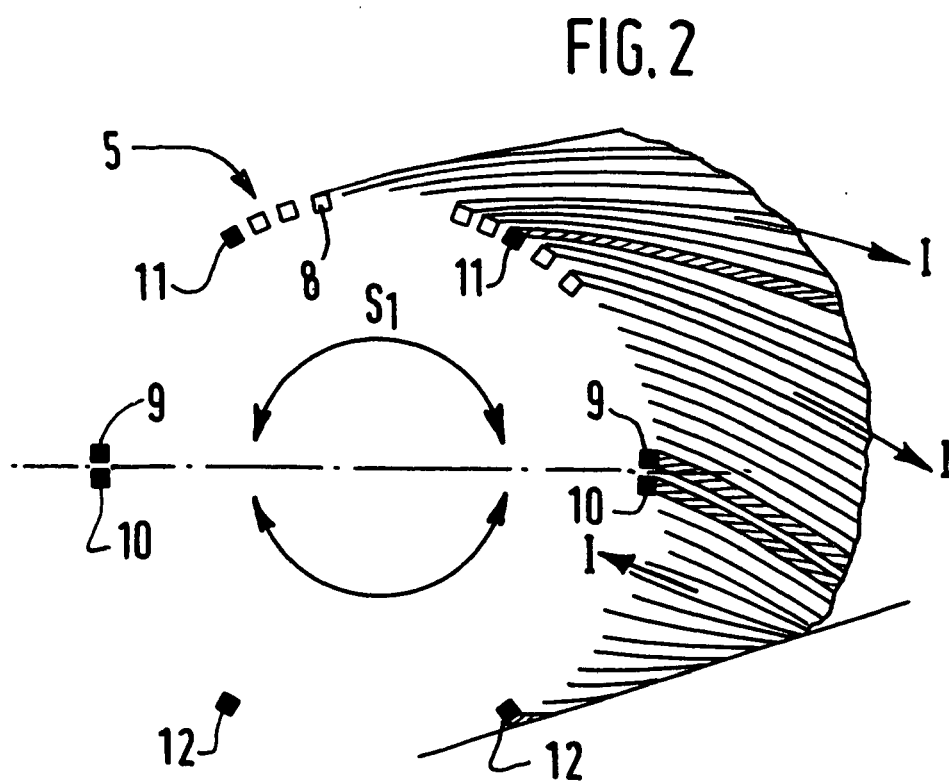
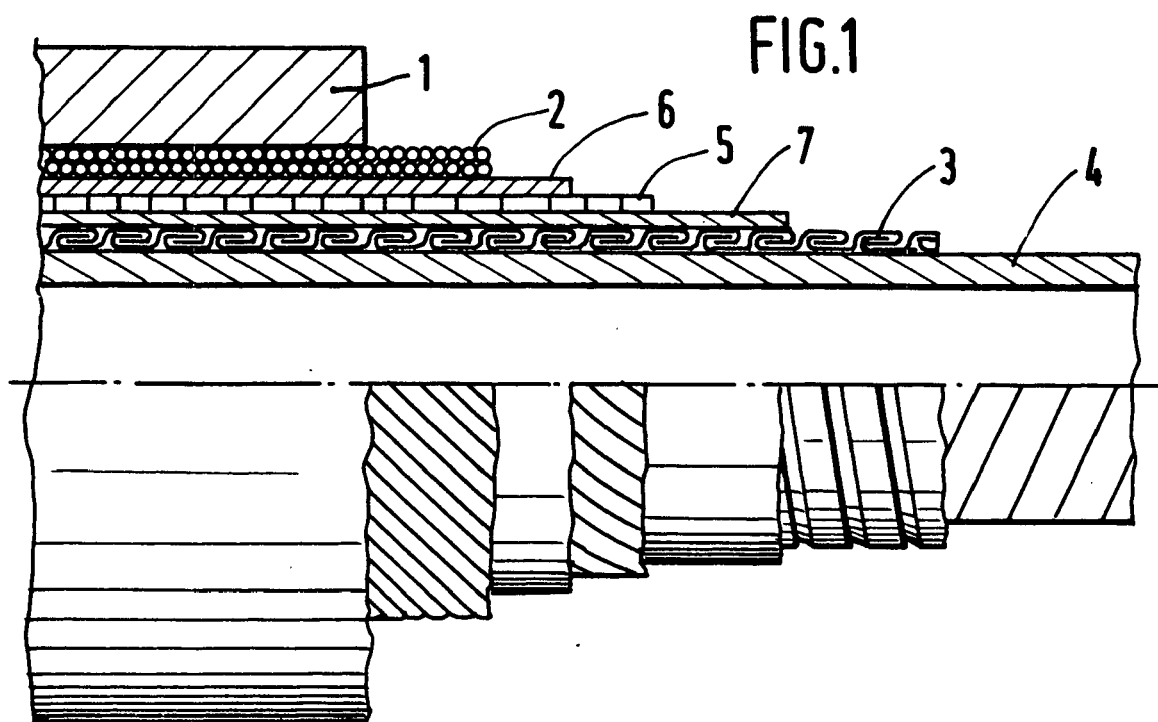
18. Rørledning ifølge et av kravene 1 - 16, hvor monta-  
sjen av forsterkende armeringer omfatter en trykkfast ar-  
mering som er viklet spiralformet, og på yttersiden av  
denne trykkfaste armering en strekkfast armering dannet av  
30 tråder med en armeringsvinkel som er mindre enn  $55^\circ$ ,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at lederne i oppvarm-  
ningslaget eller -lagene er anordnet mellom armeringene,  
ved mellomposisjonering av mellomliggende mantler, og vik-  
let i kontinuerlige skruelinjer med en armeringsvinkel som  
35 er større enn vinkelen av trådene i den strekkfaste arme-  
ring, idet differansen mellom disse vinkler fortrinnsvis i

det minste er lik  $10^{\circ}$ .

19. Rørledning ifølge et av de foregående krav,  
k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter i det  
5 minste ett ytre termoiserende skikt.

20. Anvendelse av rørledning ifølge et av de foregående  
krav, der temperaturen på lederne bibeholdes på en for-  
holdsvis lav verdi, som bare er litt høyere enn temperatu-  
10 ren av den innvendige vegg av den fleksible rørledning.

21. Anvendelse av rørledning ifølge et av de foregående  
krav, der lederne i oppvarmningslaget eller -lagene benyt-  
tes til å måle temperaturen av det transporterte fluid.  
15



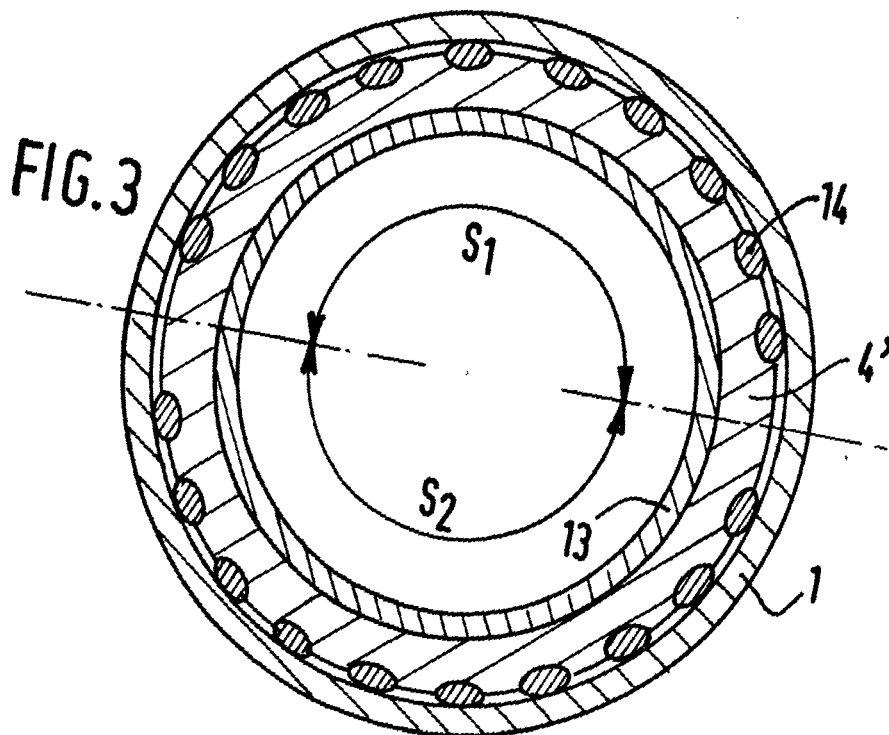


FIG. 4

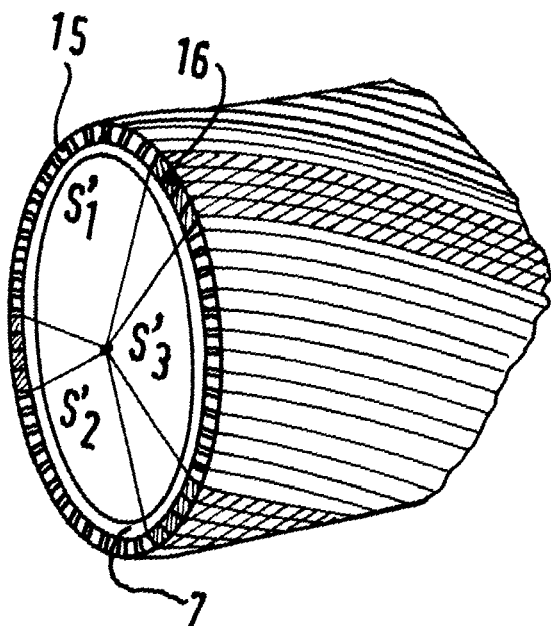
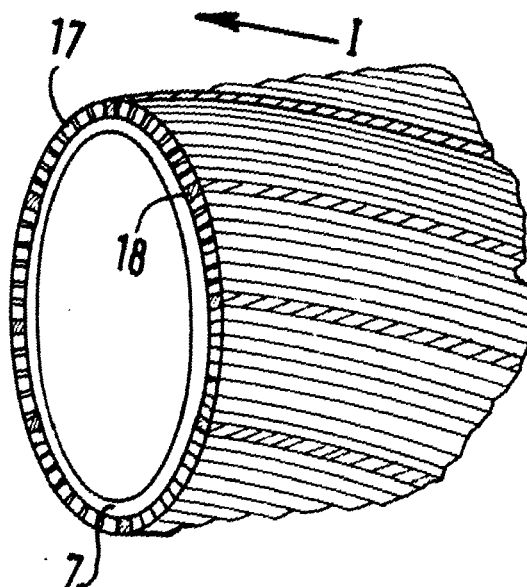


FIG. 5



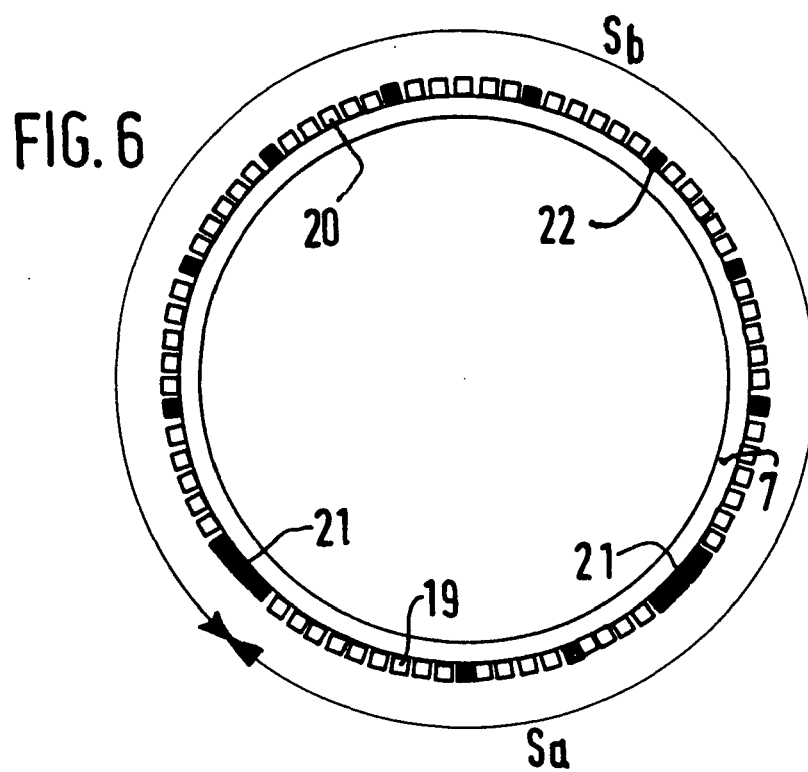


FIG. 7

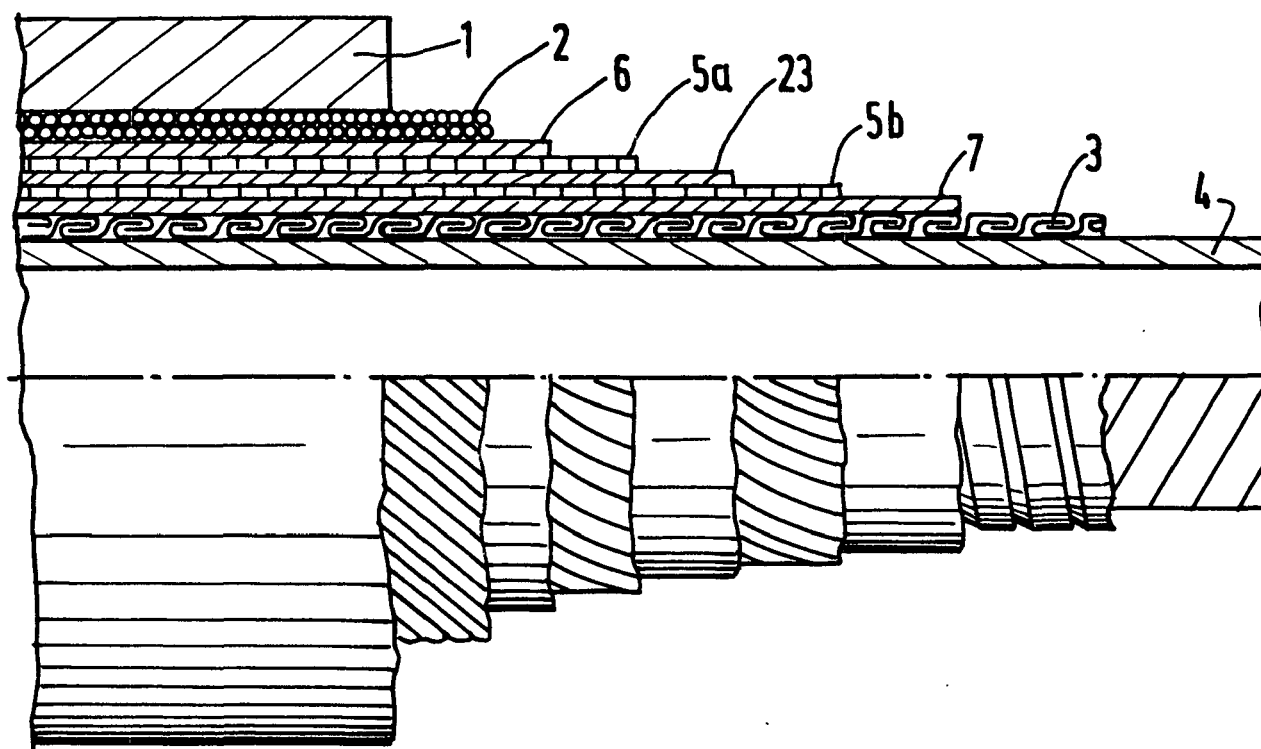


FIG. 8

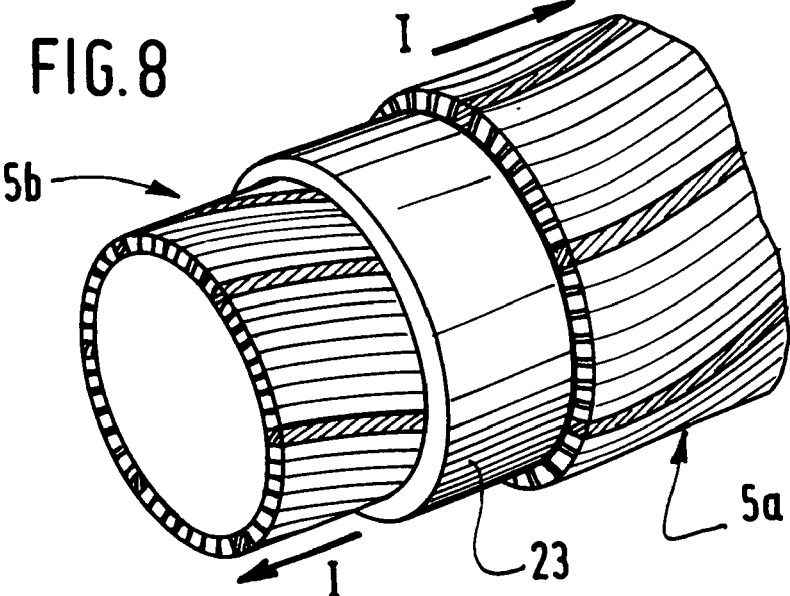


FIG. 9

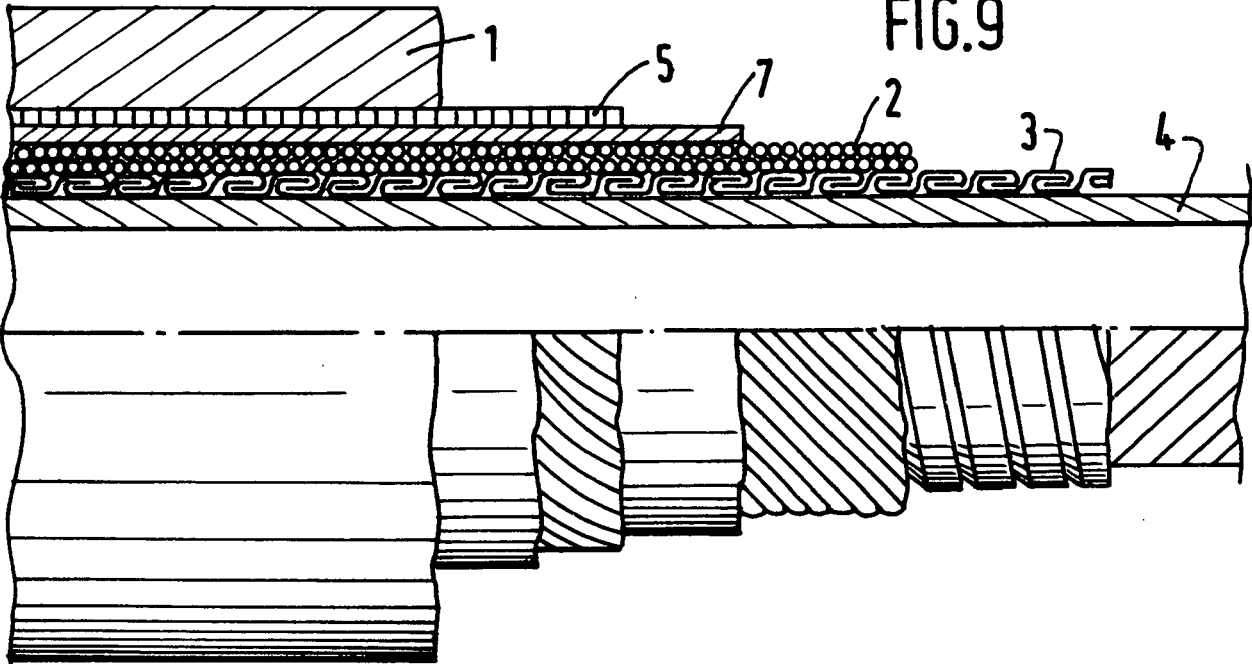


FIG.10

