



(12) PATENT

(19) NO

(11) 331687

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01P 5/24 (2006.01)

G01F 1/66 (2006.01)

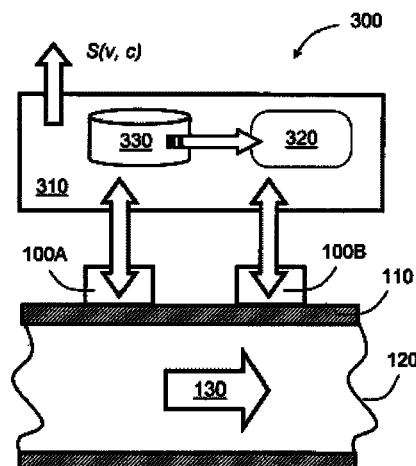
G01N 29/024 (2006.01)

## Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20093582	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2009.12.22	(85)	Videreføringssdag
(24)	Løpedag	2009.12.22	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2011.06.24		
(45)	Meddelt	2012.02.20		
(73)	Innehaver	Tecom AS, c/o Christian Michelsen Research, Postboks 6031 Postterminalen, 5892 BERGEN, Norge		
(72)	Oppfinner	Kjell Eivind Frøysa, Vestlundveien 7, 5145 FYLLINGSDALEN, Norge Remi Andre Kippersund, Halvkannebakken 3, 5011 BERGEN, Norge Per Lunde, Sandslikroken 56, 5254 SANDSLI, Norge		
(74)	Fullmektig	Acapo AS, Postboks 1880 Nordnes, 5817 BERGEN, Norge		

(54)	Benevnelse	<b>Strømningsmåleapparat</b>
(56)	Anførte publikasjoner	GB 2343249 A, EP 1621856 A2
(57)	Sammendrag	

En strømningsmåleanordning (300, 500) måler en fluidstrømning (130) inne i en ledning (120) som innbefatter en vegg (110). Anordningen (300,500) innbefatter et transduserarrangement som innbefatter minst to transduserne (100A, 100B) for vekselvis å sende og motta ultralydstråling gjennom ledningsveggen (110) og strømmingen (130). Anordningen (300,500) innbefatter også et signalbehandlingsarrangement (310) for å generere signaler for å eksitere transduserarrangementet (100A, 100B) og for å behandle mottatte signaler levert av transduserarrangementet (100A, 100B) for å generere utgangssignaler fra signalbehandlingsarrangementet (310) som en indikasjon på egenskaper ved strømmingen. Transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) tilveiebringer en første bane (200) for ultrasonisk Lamb-bølgestrålingskobling direkte fra en første av de minst to transduserne (100A, 100B) til en andre av de minst to transduserne for å generere et første mottatt signal. Transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) tilveiebringer minst én andre bane (210) for ultralydforplantning langs veggen (100) via Lamb-bølgekobling til i det minste en del av strømmingen (130) fra en første av de minst to transduserne (100A, 100B) til en andre av de minst to transduserne (100A, 100B) for å generere et andre mottatt signal. Signalbehandlingsarrangementet (310) bestemmer fra de første og andre mottatte signalene forplantningstidsperioder for ultralydstråling gjennom den første banen (200) og gjennom den minst ene andre banen (210), og utfører beregningsmessige operasjoner på forplantningstidsperiodene for å bestemme egenskaper ved strømmingen, innbefattende, men ikke begrenset til, i det minste én av: fluidstrømningshastighet ( $v$ ) i ledningen (120), en lydshastighet ( $c$ ) gjennom fluidet (130).



### Teknisk område for oppfinnelsen

Foreliggende oppfinnelse vedrører strømningsmåleapparat, f.eks. en strømningsmåleanordning for måling av en strømningshastighet og lyd hastighet for et fluid som strømmer gjennom en ledning, ved å benytte minst to ultralyd-

5 transdusere montert på en ytre overflate av lederen. Oppfinnelsen angår dessuten en fremgangsmåte for måling av strømningshastighet og lyd hastighet for en strømning, f.eks. en fremgangsmåte for å måle strømningshastighet og lyd hastighet i et fluid ved å benytte minst to ultralydtransdusere montert på en ytre overflate av en ledning.

10

### Bakgrunn for oppfinnelsen

Ultrasonisk gangtidsstrømningsmåling er velkjent til måling av fluidstrømningshastigheter gjennom ledninger. Slike strømningsmålinger er dessuten gjennomførbare uten å innføre mekaniske hindringer i strømmingen. I tillegg til en

15 fordel ved slike ikke-hindrende egenskaper, gir ultrasoniske strømningsmåleanordninger ofte en forholdsvis lav pris for installasjon og drift. Dette er spesielt tilfelle for anordninger som blir fastspent til en utside av ledninger som fører strømmer av fluider under drift. Mange fremgangsmåter og anordninger for ultrasonisk strømningsmåling er blitt foreslått og patentert siden 1950-årene. En

20 generell oversikt over ultrasoniske strømningsmålinger kan finnes i Lynnworth & Liu, Ultrasonics 44, 2006, pp. 1371-1378.

I et ultrasonisk strømningsmåleapparat er minst ett par med ultralydtransdusere anordnet ved oppstrøms- og nedstrømsposisjoner i forhold til hverandre. Paret med transdusere sender og mottar vekselvis ultralydsignaler som

25 forplanter seg langs i det minste én bane i et fluid som skal karakteriseres. Gangtider for oppstrøms- og nedstrømsforplantningssignaler kan brukes til å beregne en strømningshastighet for fluidet.

Fig. 1 er en illustrasjon av et eksempel på en kommersielt kjent type av en ultrasonisk gangtidsstrømningsmåleanordning montert på en ledning **10**. Anordningen anvender en fast akustisk forplantningsbane **20** som har en rommessig utstrekning fra en første ultralydtransduser **30** (A) via et område med fluid **40** ved en

vinkel  $\varphi$  i forhold til en langsgående akse for ledningen **10**, til en annen transduser **50** (B). Et ultralydsignal blir først sendt i en første retning fra den første transduseren **30** via området med fluid **40** til transduseren **50** (B). For det andre blir et ultralydsignal så sendt i motsatt retning fra den andre transduseren **50** (B) via fluidområdet **40** til den første transduseren **30** (A). De to gangtidene blir derved målt for de første og andre retningene, nemlig  $t_u$  for oppstrøms signalforplantning av ultralyd og  $t_d$  for nedstrøms ultrasonisk signalforplantning. Det antas at hastigheten  $c$  til ultralydsignalet er meget større enn fluidstrømningshastigheten  $v$ , nemlig  $v^2 \ll c^2$ , en logisk slutning om en aksial strømningshastighet for fluidet i området **40** kan utledes fra gangtidene  $t_u$ ,  $t_d$  ved å bruke ligning 1 (lign.1):

$$v = \frac{c^2 \tan \varphi}{2D} (t_u - t_d) \quad \text{lign. 1}$$

15 hvor  $D$  er en avstand mellom indre overflater av ledningen **10**, f.eks. en diameter for ledningen **10** når den har en rund profil. Lydhastigheten  $c$  i fluidet og vinkelen  $\varphi$  mellom veggen til ledningen **10** og retningen for ultralydforplantning langs banen **20** er forutbestemte størrelser. En utledning av ligning 1 (lign. 1) kan finnes i US-patent nr. 5,856,622.

20 Det er hensiktsmessig å anvende en modell som tar hensyn til de to transduserne **30**, **50** som punkter og ultrasonisk stråleforplantning som strålebunter gjennom disse punktene. Diameteren  $D$  og en avstand  $L$  mellom transduserne **30**, **50** bestemmer en akustisk forplantningsbane for forplantning av den ultrasoniske strålingen. Ultralydtransduserne **30**, **50** må være konstruert slik at en hoveddel av  
 25 ultralydstrålingen blir utstrålt ved en vinkel  $\varphi$  som får strålingen til å bli mottatt ved en mottakende transduser. Ettersom den ultrasoniske forplantningsbanen i virkeligheten blir påvirket av temperaturene til festeanordningene som anvendes for ultralydtransduserne **30**, **50**, såvel som temperaturene til ledningsveggene og hastighetene til ultralydstrålingen og strømningshastigheten  $v$ , er en viss bredde på ultralydstrålen  
 30 nødvendig for at den utsendte ultralydstrålingen skal nå en mottakende transduser **30**, **50** på en passende måte. Avhengig av strålebredden og avviket fra den

teoretiske modellen kan ultralydstråling forplante seg ikke bare langs den antatte banen 20, men også samtidig gjennom flere baner med gangtider som er litt forskjellige fra de forventede verdiene. Slike støybaner eller falske baner påvirker nøyaktigheten av en gangtidsmåling, som kan oppnås og som er spesielt relevant 5 når de ultrasoniske transduserne er montert på en ytre overflate av en ledning. En fremgangsmåte beskrevet i US-patent nr. 4,930,358 for å forbedre nøyaktigheten av strømningsmålinger er derfor basert på å redusere en retningsvinkel og dermed antall falske ultrasoniske forplantningsbaner. Reduserte retningsvinkler blir typisk oppnådd ved å øke størrelsen og koblingsoverflatearealet til de ultralydtransduserne 10 som anvendes.

US-patent nr. 5,856,622 beskriver en iterativ fremgangsmåte for temperatur- og trykk-kompensering i beregningen av strømningshastighet fra gangtider målt ved å bruke den konvensjonelle fremgangsmåten som er angitt foran. US-patentene 4,195,516, 4,930,358 og 5,280,728 beskriver dessuten transduserfesteordninger 15 som er konstruert for å tillate direkte måling av lyd hastigheten til festematerialet. Det har vist seg at lyd hastigheten i transduserfesteordningen er viktig både med hensyn til gangtider og med hensyn til en refleksjonsvinkel oppnådd i væsken. I disse US-patentene er det beskrevet forskjellige måter for å kompensere for temperaturusikkerheter på grunn av variabel transduserforsinkelse og forplantnings- 20 bane, som den konvensjonelle fremgangsmåten er følsom for, men de foreslår ingen løsning for fullstendig å unngå noen av disse problemene. US-patent nr. 4,748,857 foreslår en anordning og en fremgangsmåte hvor en monteringsavstand mellom transduserne blir endret for å kompensere for endringer av lyd hastighet i et fluid som skal karakteriseres. Slike justeringer er upraktiske i mange anvendelser og kan 25 potensielt gi opphav til økte apparatkostnader, ekstra kompleksitet og redusert pålitelighet.

I et US-patent nr. 4,454,767 er det beskrevet en anordning som innbefatter to ultralydtransduser med kiler som er integrert i en enkelt fastspenningsmekanisme for å sikre riktig innbyrdes posisjonering av transduserne når anordningen blir 30 montert på en ytre overflate av et rør. Anordningen kan muliggjøre praktisk installasjon på en fastspenningsmåte, men kompenserer ikke for måleusikkerhet som skyldes variasjoner i temperatur og fluidsammensetning.

Et system for koherent multibanestrømningsmåling er beskrevet i US-patent nr. 6,293,156, hvor systemet er basert på utsendelse av en høyfrekvent ultralydstråle inn i en vegg for et damp- eller gass-transporterende rør. Denne strålen blir under drift reflektert fra en indre og en ytre overflate av en vegg i røret, og treffer dermed en innervegg ved gjentatte posisjoner som er aksialt separert av en sprangavstand. For hver slik hendelse blir en del av ultralydenergien i røret strålt inn i et strømmende medium som er tilstede i røret, for derved å danne flere diskrete forplantningsbaner for ultralyd gjennom mediet. Et antall ultralydmottakere er posisjonert for å motta ultralydsignaler utsendt langs forskjellige baner, og strømningshastigheten for mediet blir funnet ved å krysskorrelere de mottatte signalene. Strømningsmålesystemet er ikke en gangtidsstrømmåler og er ikke utsatt for de samme usikkerhetene som nevnt foran i forbindelse med konvensjonelle strømningsmålere. Målesystemet er imidlertid utsatt for andre usikkerheter, nemlig i forbindelse med sprangavstanden og ultralydstrålebredden. Målesystemet kan videre operere ved frekvenser som er for høye for målinger av flerfasestrømninger, f.eks. slike som påtreffes i oljeindustrien.

Som ligning 1 (likn. 1) indikerer, er nøyaktig kjennskap til lyd hastigheten  $c$  i fluidet viktig for måling av strømningshastighet ved hjelp av den konvensjonelle fremgangsmåten. Lydhastigheten  $c$  er ofte også en ettertraktet parameter for karakterisering av fluidet, og blir vanligvis fremskaffet ved å foreta separate målinger. US-patentene nr. 3,731,532, 3,783,169, 3,727,454, 3,727,458 og 4,015,470 beskriver f.eks. fremgangsmåter som anvender tre eller fire transdusere for å måle både strømnings- og lyd hastighet. US-patent nr. 5,040,415 beskriver bruk av fire transdusere for måling av gangtider for fire baner gjennom fluidet og derfra å utlede strømningshastighet, temperatur og trykk fra målingene. Ettersom lyd hastigheten for ultralydstråling i et fluid generelt er trykk- og temperaturavhengig, må fluidkarakteriserende målinger enten utføres under de spesielle tilstandene som er av interesse, eller temperaturen og trykket må også måles og anvendes i forbindelse med den tilhørende korreksjonen. Lydhastigheten i en flerfasestrømning er dessuten sterkt avhengig av fluidsammensetning og kan svinge hurtig ettersom fluidsammensetningen svinger. Det er følgelig et behov for å tilføye temperatur- og trykkmålinger til konvensjonelle måleanordninger for fluidstrømning som representerer ytterligere kompleksitet og kostnader.

I US-patentene med nr. 4,467,659 og 4,838,127 er det beskrevet utforminger av strømningsmåleanordninger som frembringer og detekterer Lamb-ledede bølgeomodi i en vegg i en fluidførende ledning. De genererte Lamb-modiene kobles til fluidstrømningen i ledningen slik at ultralydsignaler følger baner for hvilke målte gangtider kan kombineres for beregning av strømningshastigheten til fluidet. I et US-patent nr. 4,735,097 er det dessuten beskrevet ultralydmottakere montert på en overflate av en platelignende struktur slik som en fluidførende ledning, hvor transduserne er operative for å generere en Rayleigh-lignende forstyrrelse ved den fjerntliggende overflaten av vegg. Denne forstyrrelsen virker som en utvidet apertur som er flere ultrasoniske bølgelengder bred i forhold til et ultralydsignal som stråles inn i fluidet. En meget kort puls blir anvendt for å generere slike Rayleigh-lignende oscillasjoner uten å eksitere Lamb-modi. De forangående tre nevnte patentene angår transduserutforming per se, og ikke måling av strømningshastighet.

I en britisk patentsøknad GB 2 343 249A (Schlumberger Ltd., De Nederlandske Antiller) er det beskrevet en fremgangsmåte og en anordning for å karakterisere enkelt- eller polyfasestrømninger i en ledning ved å måle dempningen av akustiske lekkbølger utsendt i en vegg i ledningen. Fremgangsmåten hevdes å være ikke-invaderende og anordningen er innrettet for å bli spent fast på ledningen som fører fluidet som skal måles. Anordningen er implementert som en strømningsmåler som omfatter minst én sender for å generere akustiske bølger og minst én mottaker for å motta akustisk energi. Strømningsmåleren er dessuten under bruk montert på en ytre overflate av ledningen som fører fluidet som skal måles. Ytterligere elektroniske komponenter er innbefattet for å operere den minst ene senderen og den minst ene mottakeren. Strømningsmåleren er innrettet for å generere akustiske lekkbølgeomodi i vegg, og den minst ene mottakeren og dens tilhørende elektronikk-komponenter er operative for å motta og bestemme dempningen av bølgeforplantningen inne i ledningsveggen fra den minst ene senderen til den minst ene mottakeren.

I en europeisk patentsøknad nr. EP 1 621 856 A2 (Fuji Electric Systems Co. Ltd., Japan) er det beskrevet en ultrasonisk Doppler-strømningshastighetsprofilmåler for måling av strømningshastighet for et fluid som strømmer inne i et rør. Profil-måleren omfatter en ultrasonisk bølge-transduser som under drift er montert på

utsiden av røret med en lydbølgeforplantende kile anordnet mellom transduseren og røret. Kilen er innrettet for å bidra med å overføre en ultralydbølge som faller inn på fluidet inne i røret. Kilen er dessuten innrettet for å hjelpe til med å motta en ultralydbølge, hvor bølgen er reflektert av reflektorer som finnes i fluidet, f.eks. partikler.

- 5 Måleren innbefatter også et beregningsarrangement for beregning av en strømningshastighetsprofil for fluidet basert på det prinsipp at frekvensen til den reflekterte ultralydbølgen blir endret på grunn av Doppler-effekten i forhold til frekvensen til den utsendte bølgen avhengig av strømningshastigheten. Frekvensen  $f_0$  for den utsendte ultralydbølgen er satt til en annen frekvens enn den frekvens ved hvilken refleksjons-
- 10 vinkelen  $\theta_p$  for en bølge i hver modus av Lamb-bølger ved innføring i rørveggen blir  $90^\circ$ , idet frekvensen blir beregnet fra innfallsvinkelen  $\theta_w$  for ultralydbølgen på røret fra kilen, lydhastighetene til skjærbølgen og en langsgående bølge i røret og vegg-
- tykkelsen til røret.

- Fra det foregående vil man forstå at betydelige tekniske anstrengelser er blitt
- 15 viet til å utvikle og videreutvikle ultrasonisk strømningsmåleapparat. Disse anstrengelsene har resultert i komplekse instrumenter som oppviser vanskeligheter med målenøyaktigheten når de brukes i forbindelse med komplekse strømnings-
- blandinger, f.eks. flerfase væske/gass-blandinger som innbefatter partikkelformet stoff. Flere løsninger finnes for å kompensere for iboende måleusikkerheter i den
- 20 konvensjonelle fremgangsmåten. Til tross for omfattende anstrengelser som belyst i det foregående, har imidlertid hittil ingen alternative fremgangsmåter blitt beskrevet som beholder fordelene, men unngår den foran nevnte iboende usikkerheten ved ultrasoniske gangtidsstrømningsmålinger.

## 25 **Oppsummering av oppfinnelsen**

Foreliggende oppfinnelse forsøker å tilveiebringe en mer robust og enklere strømningsmåleanordning for måling av i det minste strømningshastighet i fluider, f.eks. i komplekse flerfaseblandinger av fluider.

- I henhold til et første aspekt ved oppfinnelsen er det tilveiebrakt en
- 30 strømningsmåleanordning som definert i det vedføyde krav 1: Det er tilveiebrakt en strømningsmåleanordning for måling av en strømning for et fluid inne i en ledning som innbefatter én eller flere vegger, hvor anordningen innbefatter et transduser-

arrangement som innbefatter minst to transdusere for vekselvis å utsende og motta ultralydsignaler, og et signalbehandlingsarrangement for å generere signaler for å eksitere transduserarrangementet og for å behandle mottatte signaler tilveiebrakt ved hjelp av transduserarrangementet for å generere utgangssignaler fra signal-

5 behandlingsarrangementet, som indikerer egenskaper ved strømmingen, karakterisert ved at

transduserarrangementet i samvirke med ledningen er operativt for å tilveiebringe en første bane bare via den ene eller de flere veggene for ultrasonisk Lamb-bølge-

10 strålingskobling direkte fra minst én transduser som sender ut ultralydstråling til minst én transduser som mottar ultralydstråling for å generere et første mottatt signal;

hvor transduserarrangementet i samvirke med ledningen er operativt for å tilveiebringe minst én annen bane for ultralydforplantning inne i den ene eller de flere veggene via Lamb-bølgekopling til i det minste en del av strømmingen fra minst én

15 transduser som sender ut ultralydstråling til minst én transduser som mottar ultralydstrålingen for å generere et andre mottatt signal som forplanter seg delvis gjennom ledningsveggen og delvis gjennom fluidet; og

hvor signalbehandlingsarrangementet er operativt for fra de første og andre signalene å bestemme forplantningstidsperioder for ultralydstråling gjennom den

20 første banen og gjennom den minst ene andre banen, og for å utføre beregningsoperasjoner på forplantningstidsperiodene for å bestemme egenskapene ved strømmingen i forhold til én av: en strømningshastighet ( $v$ ) for fluidet i ledningen, en lydshastighet ( $c$ ) gjennom fluidet.

Oppfinnelsen er fordelaktig ved at:

- 25 (a) strømningsmåleanordningen er operativ for å anvende Lamb-bølger som forplanter seg i én eller flere vegger som overfører ultralydenergi til og mottar ultralydenergi fra fluidstrømmingen ved ethvert punkt mellom de minst to transduserne; følgelig er avstanden mellom et par transdusere i transduserarrangementet ikke en kritisk parameter for lydforplantingsbanen; og
- 30 (b) den første Lamb-bølgeforplantningsbanen som kun er inne i den ene eller de flere ledningsveggene, virker som en referanse for å muliggjøre nøyaktig og pålitelig



måling av fluidstrømningshastighet og lydshastighet å bli oppnådd fra tidsforplantningsmålinger av ultralydpulser.

Strømningsmåleanordningen er alternativt innrettet for å beregne strømningshastigheten ( $v$ ) for fluidet og/eller lydshastigheten ( $c$ ) i fluidet fra forplantningstidsperiodene i kombinasjon med data relatert til fasehastighet for Lamb-bølger i den ene eller de flere veggene i ledningen og en transversal dimensjon ( $D$ ) for ledningen.

Anordningen er alternativt innrettet for å bestemme forplantningstidsperioder for ultralydstråling ved hjelp av den første banen og ved hjelp av minst én andre bane i oppstrøms- og nedstrømsretningene i forhold til strømmingen av fluidet.

Anordningen er alternativt implementert slik at forplantningstidsperiodene via et antall av den minst ene andre banen er tidsmessig innbyrdes lik for å tilveiebringe signalbehandlingsenheten med en enkelt tidspuls eller et pulsutbrudd for å utføre tidsmålinger for å bestemme fluidstrømningshastigheten ( $v$ ) og/eller lydshastigheten ( $c$ ).

Anordningen er alternativt innrettet for å innbefatte og/eller være tilpasset en seksjon av ledningen som har en hovedsakelig konstant transversal dimensjon ( $D$ ) i forhold til en aksial dimensjon av ledningen i et område mellom transduserne i transduserarrangementet, idet den konstante transversale dimensjonen ( $D$ ) gjør det mulig med forplantningstidsforsinkelser via den minst ene andre banen å være innbyrdes tidsmessig lik.

Anordningen er alternativt implementert slik at ledningen innbefatter minst én strømningsinnsnevring for å generere en trykkdifferanse over banen som reaksjon på en fluidstrømning gjennom denne, og anordningen innbefatter videre én eller flere trykksensorer for måling av trykkdifferansen som utvikles over den minst ene strømningsinnsnevringen, og generering av et trykksignal ( $S_p$ ) som er en indikasjon på trykkdifferansen for signalbehandlingsarrangementet, og et temperatursensorarrangement for måling av en temperatur for strømmingen av fluid og/eller temperaturdifferanser over rørlengder eller rørledningskomponenter for å forsyne signalbehandlingsarrangementet med temperatursignaler ( $S_T$ ) som er en indikasjon på temperatur, og signalbehandlingsarrangementet er operativt for å benytte en hvilken som helst kombinasjon av én eller flere trykkmålinger, én eller flere trykkdifferansemålinger, én eller flere temperaturmålinger, én eller flere

temperaturdifferansemålinger, én eller flere fluidstrømningshastighetsmålinger og lyd hastighet i en blanding for å bestemme én eller flere fluidstrømningsmengder, én eller flere fluidfraksjoner, og/eller én eller flere fluidkarakteristikker, f.eks. viskositet og/eller densitet for fluidet eller fluidfasene som er tilstede.

5 Anordningen er alternativt innrettet slik at transduserarrangementet innbefatter et antall transduserpar for måling av rommessig forskjellige fluidstrømninger i ledningen, f.eks. for økt robusthet for, og/eller korreksjoner for måling av fluidstrømningshastighetsprofilene i ledningen eller de rommessige fasefordelingene i ledningen hvis mer enn én fluidfase er tilstede i ledningen.

10 Anordningen er alternativt realisert slik at dempningen av ultralydsignalet som følger den første banen, kan overvåkes for å tilveiebringe en inngang til et frekvensavstemningsarrangement for å avstemme driften av anordningen for å tilveiebringe optimal energioverføring mellom transduserarrangementet og fluidet under drift.

15 En dempningsmåling for stråling gjennom fluidet i ledningen blir alternativt brukt som et første mål på fluidets densitet basert på dempningen av visse ledede bølgemodi som er hovedsakelig proporsjonalt med et akustisk impedansforhold mellom fluidet og ledningen.

Anordningen er alternativt implementert slik at transduserarrangementet i  
20 samvirke med signalbehandlingsarrangementet er operativt for å eksitere bølgemodi med hovedsakelig tangensial bevegelse på overflaten av den ene eller de flere veggene, hvor disse bølgemodiene er av en beskaffenhet for å bli koblet inn i fluidet i ledningen som en funksjon av en viskositet for fluidet, og hvor signalbehandlingsarrangementet er operativt for å måle en dempning av disse bølgemodiene i den ene  
25 eller de flere veggene for å beregne en viskositet for fluidet inne i ledningen.

I henhold til et andre aspekt ved oppfinnelsen er det tilveiebrakt en fremgangsmåte for måling av en strømning av et fluid inne i en ledning som innbefatter én eller flere vegger, karakterisert ved at fremgangsmåten innbefatter:

(a) å tilveiebringe et transduserarrangement som innbefatter minst to transdusere  
30 for vekselvis å utsende og motta ultralydstråling forplantet gjennom strømningen, og å tilveiebringe et signalbehandlingsarrangement for å generere signaler for å

eksitere transduserarrangementet og for å behandle mottatte signaler levert av transduserarrangementet;

(b) å sørge for at transduserarrangementet i samvirke med ledningen tilveiebringer en første bane kun via den ene eller de flere veggene for ultrasonisk Lamb-  
5 bølgestrålingskobling direkte fra en transduser som utsender ultralydstråling og minst én transduser som mottar ultralydstråling, for å generere et første mottatt signal;

(c) å sørge for at transduserarrangementet i samvirke med ledningen tilveiebringer minst én andre bane for ultralydforplantning inne i den ene eller de flere  
10 veggene via Lamb-bølgekobling til minst en del av strømmingen fra minst én transduser som sender ut ultralydstråling til minst én transduser som mottar ultralydstråling for å generere et mottatt signal som forplanter seg delvis gjennom ledningsveggen og delvis gjennom fluidet; og

(d) å sørge for at signalbehandlingsarrangementet for å bestemme, fra det første  
15 og det andre signalet, forplantningstidsperioder for ultralydstrålingen gjennom den første banen og gjennom den minst ene andre banen, og for å utføre beregningsoperasjoner på forplantningstidsperiodene for å bestemme egenskapene til strømmingen i forbindelse med minst én av: en strømningshastighet ( $v$ ) for fluidet i ledningen, en lydshastighet ( $c$ ) gjennom fluidet.

20 Fremgangsmåten er alternativt implementert slik at beregning av strømningshastigheten ( $v$ ) for fluidet og/eller lydshastigheten ( $c$ ) i fluidet fra forplantningstidsperioder, blir utført i kombinasjon med anvendelse av data vedrørende fasehastighet for Lamb-bølger i den ene eller de flere veggene i ledningen og en transversal dimensjon ( $D$ ) for ledningen.

25 Fremgangsmåten innbefatter alternativt å bestemme ultralydstrålingens forplantningstidsperioder gjennom den første banen og gjennom den minst ene andre banen i oppstrøms- og nedstrømsretningene i forhold til strømmingen av fluidet.

30 Fremgangsmåten innbefatter alternativt å sørge for at forplantningstidsperiodene via et antall av den minst ene andre banen er midlertidig innbyrdes like for å forsyne signalbehandlingsenheten med en enkelt tidspuls eller et pulsutbrudd for å utføre tidsmålinger for å bestemme fluidstrømningshastigheten ( $v$ ) og/eller

lydhastigheten ( $c$ ). Fremgangsmåten innbefatter alternativt å sørge for at en seksjon av ledningen har en hovedsakelig konstant transversal dimensjon ( $D$ ) i forhold til en aksial retning av ledningen i et område mellom transdusere i transduserarrangementet, hvor den konstante transversale dimensjonen ( $D$ ) muliggjør forplantningstidsforsinkelser via den minst ene andre banen å bli innbyrdes tidsmessig like.

5 Fremgangsmåten innbefatter alternativt å sørge for at minst én strømningsbegrensning blir innbefattet i ledningen for å generere en trykkdifferanse over denne som respons på fluidstrømning gjennom denne, og å måle, ved å bruke trykksensorer, en trykkdifferanse utviklet over den minst ene strømningsbegrensningen, 10 og å generere et trykksignal ( $S_P$ ) som er en indikasjon på trykkdifferansen til et signalbehandlingsarrangement, og et temperatursensorarrangement for å måle en temperatur for strømmingen av fluidet og/eller temperaturdifferanser over rørlengder eller rørledningskomponenter i forbindelse med ledningen for å forsyne signa- lbehandlingsarrangementet med temperatursignaler ( $S_T$ ) som en indikasjon på 15 temperatur, og i signalbehandlingsarrangementet å benytte en hvilken som helst kombinasjon av én eller flere trykkmålinger, én eller flere trykkdifferansemålinger, én eller flere temperaturmålinger, én eller flere temperaturdifferansemålinger, en fluidstrømningshastighet og en blanding av lydhastighet for å bestemme én eller flere av fluidstrømningshastighet, én eller flere fluidfraksjoner og/eller én eller flere fluid- 20 karakteristikk som er en indikasjon på viskositet og/eller densitet for ett eller flere fluider eller én eller flere fluidfaser. Bestemmelse av viskositet og/eller densitet er nyttig ved måling av flerfaseblandinger som strømmer gjennom anordningen, f.eks. når fluidstrømningen innbefatter en blanding av to fluider eller et fluid med faststoffpartikler, målinger av trykk, temperatur, strømningshastighet ( $v$ ) og lydhastighet ( $c$ ) 25 gjør det f.eks. mulig å løse et sett med simultane ligninger, hvor løsningen gir et forhold mellom fluider som skal beregnes. En slik bestemmelse av en flerfaseblanding er f.eks. meget nyttig på oljeproduksjonsområdet hvor blandinger av en hvilken som helst kombinasjon av typisk olje, vann, gass, kjemikalier, sand, må overvåkes for reguleringsformål, f.eks. for å regulere en øyeblikksmengde med olje 30 produsert fra en oljebrønn.

Fremgangsmåten innbefatter alternativt å sørge for at transduserarrangementet innbefatter et antall transduserpar for måling av rommessige

differensielle fluidstrømninger i ledningen, f.eks. for å øke robustheten til målingene for, og/eller korreksjoner for:

- (a) hastighetsprofiler for fluidstrømning i ledningen, eller
- (b) rommessige fasefordelinger hvis mer enn én fluidfase er tilstede i ledningen.

5 Fremgangsmåten innbefatter alternativt måling av dempning av ultralyd-signalet etter den første banen for å levere en inngang til en frekvensavstemningsalgoritme for å avstemme signalet for å oppnå optimal energioverføring inn i fluidet.

Fremgangsmåten innbefatter alternativt å bruke dempningsmålingen som et første mål på fluiddensitet basert på en dempning av visse ledede bølgemodi som  
10 hovedsakelig er proporsjonale med et akustisk impedansforhold mellom fluidet og ledningen.

Fremgangsmåten innbefatter alternativt å sørge for at transduser-arrangementet og signalbehandlingsarrangementet eksiterer bølgemodi med hovedsakelig tangensial bevegelse på overflaten av den ene eller de flere veggene,  
15 hvor bølgemodiene er av en beskaffenhet for å bli koblet inn i fluidet i ledningen som en funksjon av en viskositet for fluidet, og å måle dempning av disse bølgemodiene i den ene eller de flere veggene for å beregne en viskositet for fluidet i ledningen.

I henhold til et tredje aspekt ifølge oppfinnelsen, er det tilveiebrakt et programvareprodukt registrert på en maskinlesbar databærer, hvor  
20 programvareproduktet kan utføres på datautstyr for å utføre en fremgangsmåte ifølge det andre ved oppfinnelsen.

### Beskrivelse av tegningene

Utførelsesformer av oppfinnelsen vil nå bli beskrevet, kun som eksempler,  
25 under henvisning til de følgende tegninger, hvor:

Fig. 1 er et skjematisk diagram over ultrasonisk signalforplantning i en konvensjonell anordning for måling av ultralydstrømning;

fig. 2 er et skjematisk diagram av et transduserarrangement for å realisere en anordning for strømningsmåling i henhold til foreliggende oppfinnelse;

30 fig. 3 er et skjematisk diagram av en utførelsesform av en strømningsmåle-anordning ifølge foreliggende oppfinnelse;

- fig. 4 er en skjematisk illustrasjon av signalforplantning inne i en ledning i forbindelse med anordningen på fig. 3;
- fig. 5 er et skjematisk eksempel på målesignaler fremskaffet under drift av anordningen på fig. 3;
- 5 fig. 6 er et eksempel på en mer avansert versjon av anordningen på fig. 3;
- fig. 7 er et eksempel på en mer avansert versjon av anordningen på fig. 3 innrettet for å måle rommessige variasjoner av fluidstrømningshastighet og lydshastighet i en ledning; og
- fig. 8 er et eksempel på en mer avansert versjon av anordningen på fig. 3 innrettet for å måle fluidstrømningshastighet  $v$ , lydshastighet  $c$  og viskositet for et fluid som strømmer inne i en ledning.
- 10

### Beskrivelse av utførelsesformer av oppfinnelsen

En anordning for strømningsmåling ifølge foreliggende oppfinnelse anvender

15 minst to transdusere **100A**, **100B** som er montert på en ytre overflate av en vegg **110** for en ledning **120** som leder en strømning av et fluid **130** under drift. Transduserne **100A**, **100B** er rommessig montert med en avstand  $L$  mellom dem i en aksial retning av ledningen **120**, som illustrert på fig. 2. Transduserne **100A**, **100B** er montert på et første parti **150** av veggen **110**, som illustrert. Et annet parti **160** av

20 veggen **110** er dessuten på motsatt side av og parallell med det første partiet **150** av veggen **110**, som illustrert. Det andre partiet **160** av veggen **110** er innrettet for å reflektere akustisk energi fra fluidet **130** fordi ledningen **120** har en egnet, f.eks. sirkulær eller rektangulær, profil. Ledningen **120** er fortrinnsvis sirkulær og har hovedsakelig konstant diameter i et område mellom transduserne **100A**, **100B** ved

25 de første og andre partiene **150**, **160**. Ultralydstråling utsendt og/eller mottatt ved ledningsveggen **110** gjennom en mekanisme for Lamb-bølgeforplantning avgrensers en vinkel  $\varphi$  som vist. Foreliggende oppfinnelse kan klart skjernes fra de foran angitte, konvensjonelle strømningsmåleanordningene ved at utvelgelse av avstanden  $L$  mellom transduserne **100A**, **100B** er frakoblet utvelgelse av vinkelen  $\varphi$  for akustisk

30 strålingsforplantning inn i strømningen av fluid **130** i ledningen **120**. Slik frakobling har en viktig fordel ved at forplantningstiden  $t_{fluid}$  for ultralydstråling inne i fluidet **130** blir uavhengig av strømningshastigheten i fluidet **130**. Det er dessuten en ytterligere

fordel fremskaffet ved hjelp av foreliggende oppfinnelse ved at usikkerheter som skyldes strømningsavhengige forplantningsbaner blir minsket og derved tar hensyn til et grunnleggende problem som påtreffes i forbindelse med konvensjonelle ultrasoniske strømningsmåleanordninger.

- 5 Måleanordningen som er illustrert på fig. 2 anvender fortsatt en første transduser blant transduserne **100A**, **100B** for å stimulere Lamb-modi som forplanter seg i veggen **110** i ledningen **120**. En del av den stimulerede Lamb-modusforplantningen i veggen **110** vil stråle inn i fluidet **130** på en rommessig fordelt måte ved en vinkel  $\varphi$ , nemlig på en annen måte sammenlignet med en punktstrålingskilde som er
- 10 koblet til fluidet og som inntreffer i konvensjonelle ultrasoniske strømningsmåleanordninger. Vinkelen  $\varphi$  er bestemt av fasehastigheten  $c_p$  til Lamb-modusen og lyd hastigheten  $c$  for fluidet **130**. Denne vinkelen  $\varphi$  og lyd hastigheten  $c$  bestemmer en tid som er nødvendig for at en ultralydbølge skal forplante seg utover over ledningen **120** som har en radial dimensjon  $D$  fra det første partiet **150** av veggen **110**, for å bli
- 15 reflektert fra det motsatte partiet **160** av veggen **110**, og for å forplante seg tilbake til det første partiet **150** av veggen **110**. En aksial avstand  $X$  fra punktet for utstråling av ultralydbølger inn i fluidet **130** til det punkt hvor strålingen på nytt kommer inn i veggen **110** etter forplantning i fluidet **130**, blir bestemt ved hjelp av den radiale dimensjonen  $D$ , vinkelen  $\varphi$ , lydforplantningshastigheten  $c$  og strømningshastigheten
- 20  $v$ . En del av ultralydbølgene som reflekteres tilbake og som treffer veggen **110**, vil stimulere Lamb-bølger i veggen **110**, hvor de stimulerede Lamb-bølgene er av en lignende beskaffenhet som Lamb-bølger som genereres for å eksitere fluidet **130**. En mottakertransduser blant transduserne **100A**, **100B** vil detektere flere signaler som er et resultat av:
- 25 (a) en første bane **200** relatert til direkte Lamb-bølgeforplantning i veggen **110** fra en sendertransduser blant transduserne **100A**, **100B** til en mottakertransduser blant transduserne **100A**, **100B**, og
- (b) en andre bane **210** vedrørende Lamb-bølgeforplantning i veggen **110** som er koblet inn i fluidet **130** for å generere ultralydbølger som forplanter seg i fluidet **130**,
- 30 hvor ultralydbølgene i fluidet **130** blir reflektert fra en motstående vegg i ledningen **120**, med reflektert stråleforplantning tilbake til veggen **110** for tilkobling via Lamb-

bølger inn i veggen **112** for til slutt å bli mottatt ved en mottakstransduser blant transduserne **100A, 100B**.

Disse flere signalene vil derfor skyldes direkte forplantning langs veggen **110** og indirekte forplantning sekvensielt gjennom både veggen **110** og fluidet **130**.

5 Ultralydbølger som forplanter seg via den andre banen **210** resulterer i Lamb-bølgekobling fra veggen **110** til fluidet **130** over en kontinuerlig seksjon av ledningen **120** som gir opphav til et uendelig antall ultrasoniske strålingsbølger som forplanter seg langs sine tilknyttede baner som hensiktsmessig kan visualiseres som et strålefelt i motsetning til konvensjonelle systemer for ultrasoniske strømnings-  
10 målinger som forutsetter én eneste enkel strålebane for ultrasonisk strålingsforplantning gjennom transduserpartier, ledningsvegger og et fluid, som blir refraktert i henhold til Snell's Lov ved grenseflater.

Foreliggende oppfinnelse skiller seg fra konvensjonelle strømningsmåle-  
anordninger ved at en strømningsmåleanordning i henhold til foreliggende  
15 oppfinnelse er operativ for å måle en avstand  $X$  dekket av et punkt med stasjonær fase inne i en feltbølge som beskrevet ovenfor. Avstanden  $X$  er direkte tilordnet fluidstrømningshastigheten  $v$  og blir ikke påvirket av de samme usikkerhetskildene som oppstår i konvensjonelle fluidstrømningsmåleanordninger. Avstanden  $X$  blir helst målt ved å sammenligne gangtidene for signaler som forplanter seg langs den  
20 første banen **200** i forhold til signaler som forplanter seg langs den andre banen **210** for oppstrøms- og nedstrømsmålinger tatt i forhold til fluidstrømning inne i ledningen **120**. Lydhastigheten  $c$  i fluidet **130** kan med fordel også beregnes fra gangtider, nemlig de samme fire gangtidene som vil bli beskrevet mer detaljert senere. Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer dermed den fordel at en minimum på bare to  
25 transdusere er nødvendig for nøyaktig måling av både strømningshastighet  $v$  og lydhastighet  $c$  i fluidet **130** som strømmer i ledningen **120**. Ytterligere transdusere kan alternativt benyttes til å ekstrahere ytterligere informasjon, f.eks. rommessig strømningsprofil inne i ledningen **120** som forklart mer detaljert senere.

Et teoretisk grunnlag for implementering av utførelsesformer av foreliggende  
30 oppfinnelse vil nå bli beskrevet. Betrakt en strømningsmåleanordning som illustrert på fig. 2 med sitt par med transdusere **100A, 100B** montert på en ytre overflate av veggen **110** av ledningen **120**. Transduserne **100A, 100B** veksler mellom sending og



mottakelse av ultralydsignaler slik at både oppstrøms- og nedstrømsmålinger blir implementert. En sendende transduser av transduserne **100A**, **100B** eksiterer en Lamb-ledet bølgemodus i veggene **110** for ledningen **120** hvorav en del rommessig kobles gradvis inn i fluidstrømningen i et volum definert av veggene **110** for å generere utstrålt stråling inne i fluidet **130**. Strålingen skjærer en vinkel  $\varphi$  som definert av Snell's Lov og som uttrykt i ligning 2 (lign. 2):

$$c = c_p \cos \varphi \quad \text{lign. 2}$$

hvor  $c$  er lyd hastigheten i fluidet **130** og  $c_p$  er fasehastigheten til Lamb-modusen, og  $\varphi$  er vinkelen mellom retningen til lyd som forplanter seg i fluidet **130** og aksene **230** for ledningen **120**. Hastighetskomponenter i aksiale og radiale retninger for ultralyd-signalene i fluidet **130** er gitt henholdsvis ved ligningene 3 og 4, (lign. 3 og lign. 4):

$$c_x = c \cos \varphi \quad \text{lign. 3}$$

$$c_y = c \sin \varphi \quad \text{lign. 3}$$

hvor  $y$ -aksen definerer en radial retning og  $x$ -aksen definerer en aksial retning parallell med aksene **230**.

Den tid som et akustisk signal trenger for å forplante seg to ganger over ledningen **120** i forbindelse med en refleksjon ved den andre delen **160** av veggene **110**, nemlig å forplante seg over en avstand  $2D$ , er definert ved ligning 5 (lign. 5):

$$t_{\text{fluid}} = \frac{2D}{c_y} = \frac{2D}{c_p \sin \varphi \cos \varphi} \quad \text{lign. 5}$$

Når fluidet **130** er i ro i ledningen **120**, er den aksiale avstanden som tilbakelegges av en ultralydbølge fra dens utstrålingspunkt fra den første del **150** av veggene **110** inn i fluidet **130** til sitt gjeninntredelsespunkt i den første delen **150** av veggene **130** definert av  $X_0$  som angitt i ligning 6 (lign. 6):

$$X_0 = t_{\text{fluid}} c_x = t_{\text{fluid}} c \cos \varphi = \frac{2D}{\tan \varphi} \quad \text{lign. 6}$$

Hvis fluidet **130** er i bevegelse med en jevn aksial strømningshastighet av størrelse  $v$ , blir den aksiale komponenten av den akustiske forplantningshastigheten modifisert på konvensjonell måte slik at den avstand som dekkes under akustisk forplantning i fluidet blir definert av ligning 7 (lign. 7):

$$X_{\text{up}}^{\text{dn}} = t_{\text{fluid}} (c_x \pm v) = \frac{2D}{\tan \varphi} \pm \frac{2Dv}{c_p \sin \varphi \cos \varphi} \quad \text{lign. 7}$$

10 hvor "dn" og "up" refererer til henholdsvis nedstrøms og oppstrøms lyd-  
forplantningsretninger gjennom fluidet **130**. Bidraget til  $X$  som skyldes strømming av  
fluidet **130** er positivt for den nedstrøms forplantningen av lydbølgene og negativ for  
den oppstrøms forplantningen av lydbølgene. Ligning 7 (lign. 7) vedrører en enkelt  
småstråle i fluidet **130** i ledningen **120**. Forutsatt at det er en konstant transversal  
15 dimensjon  $D$  for ledningen **120** inne i området for delene **150**, **160** av lednings-  
veggene, vil alle slike småstråler kombineres konstruktivt for å danne et enkelt signal  
som ankommer ved en mottakende transduser blant transduserne **100A**, **100B**.  
Eksemplet som er gitt her vedrører uniform strømming, men enhver hovedsakelig  
laminær strømming  $v(y)$  kan behandles på lignende måte ved integrasjon eller  
20 summering svarende til deldomener langs strålebanene. Forplantningstiden  $t_{\text{fluid}}$  er  
avhengig av bare den radiale lydhastighetskomponenten og forblir dermed konstant  
når strømningshastigheten til fluidet **130** i gjennomsnitt er i den aksiale retningen  
langs ledningen **120**. Fra ligningene 6 og 7 er det mulig å bestemme analytisk at en  
middelverdi av de oppstrøms og de nedstrøms aksiale forplantningsdistansene er lik  
25 forplantningsdistansen  $X_0$  når fluidet **130** er i ro, som gitt i ligning 8 (lign. 8):

$$\hat{X} = \frac{1}{2} (X_{\text{dn}} + X_{\text{up}}) = \frac{2D}{\tan \varphi} = X_0 \quad \text{lign. 8}$$

Mens et tilsvarende forhold til ligning 8 (lign. 8) for oppstrøms og nedstrøms distanser i konvensjonelle fluidstrømningsmåleanordninger bare gjelder som en tilnærming når  $v^2 \ll c^2$ , gjelder ligning 8 for alle størrelser av hastighetene  $v$  og  $c$ .

Med hensyn til foreliggende oppfinnelse kan differansen mellom de aksiale forplantningsavstandne  $X_{dn}$  og  $X_{up}$  måles ved å sammenligne de oppstrøms og nedstrøms gangtider gjennom de første og andre banene **200**, **210**, som nevnt foran, refererer den første banen **200** til ledet bølgeforplantning inne i veggen **110** i ledningen **120** langs avstanden  $L$ , og den andre banen **210** refererer til ledet bølgeforplantning over en avstand  $(L - X_{up}^{dn})$  i tillegg til forplantning gjennom fluidet **130** og en refleksjon på det andre partiet **160** av veggen **110**. For måling av strømningshastigheten for fluidet **130** blir det tatt totalt fire målinger, nemlig én for hver av de to banene **200**, **210** for henholdsvis oppstrøms- og nedstrømsretningene som angitt i ligningene 9 og 10 (lign. 9 & lign. 10) hvor "path1" og "path2" henholdsvis svarer til banene **200**, **210**:

15

$$t_{\text{path1 up}}^{dn} = t_{\text{delay up}}^{dn} + t_{\text{pipe}}(L) \quad \text{lign. 9}$$

$$t_{\text{path2 up}}^{dn} = t_{\text{delay up}}^{dn} + t_{\text{fluid up}}^{dn} + t_{\text{pipe}}(L - X_{up}^{dn}) \quad \text{lign. 10}$$

20 hvor  $t_{\text{delay}}$  er en systemforsinkelse for elektronikk og ultralydtransdusere. Generelt blir en ledet bølgeforplantningstid for et punkt med stasjonær fase på overflaten av ledningen **120** som svarer til en forplantningslengde  $\Delta x$ , gitt ved ligning 11 (lign. 11):

$$t_{\text{pipe}}(\Delta x) = \frac{\Delta x}{c_p} \quad \text{lign. 11}$$

25

De forannevnte fire tidsmålingene kan kombineres som angitt i ligning 12 (lign. 12):

$$\begin{aligned}
& t_{\text{path2,dn}} + t_{\text{path2,up}} - t_{\text{path1,dn}} - t_{\text{path2,up}} \\
&= t_{\text{delay,dn}} + t_{\text{fluid,dn}} + t_{\text{pipe}}(2L - X_{\text{dn}} - X_{\text{up}}) + t_{\text{delay,up}} + t_{\text{fluid,up}} - t_{\text{delay,dn}} - 2t_{\text{pipe}}(L) - t_{\text{delay,up}} \\
&= t_{\text{fluid,dn}} + t_{\text{fluid,up}} + t_{\text{pipe}}(X_{\text{dn}} - X_{\text{up}}) \\
&= 2 \left( t_{\text{fluid}} - t_{\text{pipe}} \left( \hat{X} \right) \right)
\end{aligned} \tag{12}$$

5 Fra ligning 12 er det mulig ved innsetting av et uttrykk som definerer vinkelen  $\varphi$  som en funksjon av tidsmålingene, gitt fasehastigheten  $c_p$  og distansen  $D$ , å få gitt en ligning 13 (lign. 13)

$$\begin{aligned}
& t_{\text{path2,dn}} + t_{\text{path2,up}} - t_{\text{path1,dn}} - t_{\text{path1,up}} = 2 \left( t_{\text{fluid}} - t_{\text{pipe}} \left( \hat{X} \right) \right) \\
&= 2t_{\text{fluid}} (1 - \cos^2 \varphi) = 2t_{\text{fluid}} \sin^2 \varphi = \frac{4D}{c_p} \tan \varphi
\end{aligned} \tag{13}$$

10 Tidsmålingen i ligningene 9 og 10 kan kombineres for å gi et uttrykk ligning 14 (lign. 14) vedrørende tidsmåling av hastigheten  $v$  for fluidet 130, vinkelen  $\varphi$  og fasehastigheten  $c_p$  for Lamb-bølger i veggen 110:

$$\begin{aligned}
& t_{\text{path2,up}}^{\text{dn}} - t_{\text{path1,up}}^{\text{dn}} = t_{\text{delay,up}}^{\text{dn}} + t_{\text{fluid}} + t_{\text{pipe}}(L - X_{\text{up}}^{\text{dn}}) - t_{\text{delay,up}}^{\text{dn}} - t_{\text{pipe}}(L) = t_{\text{fluid}} - t_{\text{pipe}}(X_{\text{up}}^{\text{dn}}) \\
&= t_{\text{fluid}} - \frac{X_{\text{up}}^{\text{dn}}}{c_p} = \frac{2D}{c_p \sin \varphi \cos \varphi} - \frac{2D}{c_p} \frac{c_p \cos^2 \varphi \pm v}{c_p \sin \varphi \cos \varphi} \\
&= \frac{2D}{c_p \sin \varphi \cos \varphi} \left( 1 - \cos^2 \varphi - \frac{\pm v}{c_p} \right)
\end{aligned} \tag{14}$$

15 Ligning 14 kan reorganiseres for å gi ligning 15:

$$v = \frac{c_p^2 \sin \varphi \cos \varphi}{4D} (t_{\text{path2,up}} - t_{\text{path2,dn}} - t_{\text{path1,up}} + t_{\text{path1,dn}}) \tag{15}$$

20 I praksis er det gjennomførbart å måle fasehastigheten  $c_p$  for Lamb-bølger som forplanter seg langs veggen 110 i ledningen 120 langs den første banen 200 (path1) som definert i ligning 16:

$$c_p = \frac{L}{t_{\text{path1,up}}^{\text{dn}} - t_{\text{delay,up}}^{\text{dn}}} \quad \text{lign. 16}$$

Fra ligning 16 kan lyd hastigheten  $c$  i fluidet **130** beregnes ved hjelp av en direkte bruk av Snell's Lov som i ligning 17:

5

$$c = c_p \cos \varphi \quad \text{lign. 17}$$

hvor

$$10 \quad \varphi = \arctan \left( \frac{c_p}{4D} (t_{\text{path2,dn}} + t_{\text{path2,up}} - t_{\text{path1,dn}} - t_{\text{path1,up}}) \right) \quad \text{lign. 18}$$

I et strømningsmåleinstrument blir dermed fire gangtidsmålinger tatt langs de første og andre banene (path1, path2) **200, 210** i henholdsvis oppstrøms- og nedstrømsretningene. Disse fire tidsmålingene blir kombinert for å gjøre det mulig å beregne strømningshastigheten  $v$  ved å bruke ligning 15, og lyd hastigheten  $c$  blir beregnet ved å bruke ligningene 17 og 18 (lign. 17 og lign. 18).

En utførelsesform av en strømningsmåleanordning i henhold til foreliggende oppfinnelse er illustrert på fig. 3. På fig. 3 er strømningsmåleanordningen indikert generelt ved **300** og innbefatter i det minste de to transduserne **100A, 100B** og en signalbehandlingsenhet **310** som omfatter en databehandlingsenhet **320** koblet til et datalager **330**. Programvareprodukter er lagret i datalageret **310** implementert som et maskinlesbart datamedium, hvor datalageret **330** er koblet i datakommunikasjon med databehandlingsenheten **320**.

Under drift er anordningen **300** operativ for å eksitere én eller flere av transduserne **100A, 100B** for å injisere ultralydstråling inn i strømmingen **130** i ledningen **120**. Anordningen **300** er dessuten samtidig operativ for å motta signaler fra transduserne **100A, 100B** for behandling. De foran nevnte programvareproduktene er operative for å styre driften av anordningen **300** når de utføres på signalbehandlingsenheten **310**. I tillegg innbefatter anordningen **300** en utmating hvor et signal  $S(v, c)$  blir levert, f.eks. som en datastrøm, hvor signalet  $S(v, c)$

30

innbefatter et mål på fluidhastighet  $v$  og/eller lyd hastighet  $c$  i fluidet **130** som befinner seg i ledningen **120**. Alternativt er ledningen **120** en integrert del av anordningen **300**. Alternativt kan anordningen **300** være implementert slik at den kan ettermonteres på eksisterende installerte ledninger. Andre installasjonsmuligheter er  
5 også gjennomførbare.

Som nevnt annet sted i forbindelse med foreliggende oppfinnelse, er signalbehandlingsenheten **310** alternativt utplassert på samme sted som transduserne **100A**, **100B**. Alternativt er signalbehandlingsenheten **310** anordnet på et fjernliggende sted i forhold til transduserne **100A**, **100B**, f.eks. for å gjøre det mulig for  
10 transduserne **100A**, **100B** å bli anvendt i omgivelser med høy temperatur som ville være for høy for databehandlingsutstyr basert på mikrofabrikkerte silisiumanordninger. Transduserne **100A**, **100B** er alternativt forsynt med lokale elektronikkkomponenter som er i stand til å operere ved høyere temperaturer, f.eks. termioniske miniatyrforsterkere på stedet for å eksitere transduserne **100A**, **100B** og for å  
15 forsterke mottatte signaler generert av transduserne **100A**, **100B** som reaksjon på mottatt ultralydstråling.

Signaler generert av signalbehandlingsenheten **310** for å stimulere transduserne **100A**, **100B** til å generere ultralydstråling i ledningen **120**, omfatter en rekke utbrudd av pulser som illustrert skjematisk på fig. 4 under henvisning til en  
20 horisontal tidslinje. Hvert utbrudd av pulser blir gjentatt med et tidsintervall  $T1$  som eventuelt er lenger enn forplantningstiden for strålingen til å forplante seg fra en første av transduserne **100A**, **100B** via den andre banen **210** (path2) for å nå en annen av transduserne **100A**, **100B**. En varighet på utbruddet av pulser  $T2$  er dessuten eventuelt kortere enn en tidsperiode som er nødvendig for at ultralydstrålingen forplanter seg via den første banen (path1) **200** som Lamb-bølger fra en  
25 første av transduserne **100A**, **100B** til en andre av transduserne **100A**, **100B**. En periode  $T3$  for hver puls er eventuelt mindre enn varigheten av utbruddet av pulser  $T2$ ; hvert utbrudd av pulser innbefatter f.eks. fortrinnsvis fra 2 til 20 pulser.

Det vises til fig. 4 hvor hver transduser **100A**, **100B** alternativt innbefatter et  
30 piezoelektrisk element **350** som kan være koblet via et kilelignende element **360** til en ytre flate av vegg **110** for selektivt å eksitere én eller flere spesifikt ledede bølgeomodi i den ene eller de flere lederveggene **110**, og dermed et forbedret

signal/støy-forhold for en gitt størrelse av drivsignalet som genereres av signa-  
 lbehandlingsenheten **310**. Alternativt kan elektromagnetiske anordninger og/eller  
 elektrostatiske anordninger benyttes til å implementere transduserne **100A**, **100B**.  
 Når transduseren **100A** blir stimulert av et drivsignal fra signalbehandlingsenheten  
 5 **310**, oppviser ultralydstråling en første tidsforsinkelse  $t_1$  som forplanter seg gjennom  
 transduseren **100** og elektronikken og alternativt et kileelement **360**, en andre  
 tidsforsinkelse  $t_2$  som forplanter seg som Lamb-bølger inne i veggen **110**, en tredje  
 tidsforsinkelse  $t_3$  som forplanter seg som en utgående bølge i fluidet **130**, en fjerde  
 tidsforsinkelse  $t_4$  som forplanter seg som en reflektert bølge, en femte tidsforsinkelse  
 10  $t_5$  som forplantes som en gjeninnført Lamb-bølge i veggen **110**, og en sjettede tids-  
 forsinkelse  $t_6$  som forplanter seg gjennom det eventuelle kilelignende elementet **360**  
 og transduseren **100B**, og mottakerelektronikken. Den totale forplantningstiden  $t_t$  for  
 ultralydstrålen fra det eventuelle piezoelektriske elementet **360** i den første  
 transduseren **100A** til det eventuelle piezoelektriske elementet **360** i den andre  
 15 transduseren **100B**, er følgelig gitt ved ligning 19 (lign. 19):

$$t_t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$$

lign. 19

Ligning 19 angår også ultrasonisk strålingsforplantning fra den andre  
 20 transduseren **100B** til den første transduseren **100A**. Strømning inne i fluidet **130**  
 innvirker på den totale tiden  $t_t$ . Konvensjonelle strømningsmåleanordninger, f.eks.  
 som illustrert på fig. 1, forsøker å måle en total forplantningstid, nemlig ekvivalent  
 med  $t_t$  i ligning 19, for å bestemme fluidstrømningshastighet  $v$  og lydshastighet  $c$  i  
 fluidet **130**. En slik konvensjonell løsning resulterer i målingsunøyaktigheter som  
 25 fluidstrømningsmåleanordningen som opererer i henhold til foreliggende oppfinnelse,  
 unngår. Strømningsmåleanordningen i henhold til foreliggende oppfinnelse kan  
 skilles fra konvensjonelle ultrasoniske strømningsmåleanordninger ved at pulsen  
 med ultralydstråling som forplanter seg som Lamb-bølger langs den første banen  
**200** (path1) fra én av transduserne **100A**, **100B** til den andre av disse, blir brukt som  
 30 en tidsreferanse for måling av en forplantningstid for den samme strålingspulsen  
 som forplanter seg langs den andre banen **210** (path2). Et slikt tidsmessig forhold  
 mellom pulsen slik den forplantes langs de første og andre banene **200**, **210**, er

illustrert på fig. 5. For måling av fasehastigheten  $c_p$  er det imidlertid nødvendig å bestemme tidsforsinkelsene  $t_1$  og  $t_6$ .

På fig. 5 er en tidsakse langs absissen betegnet **400** med økende tid fra venstre til høyre, og en ordinatakse **410** betegner signalstyrke for pulsutbruddet i det mottatte signalet, økende fra bunnen til toppen for hver av de tre delplottingene. Et første pulsutbrudd indikert ved **450**, blir tilført en sendertransduser blant transduserne **100A**, **100B**. Et pulsutbrudd indikert ved **460**, blir mottatt ved en mottakertransduser blant transduserne **100A**, **100B** som et resultat av Lamb-bølgeforplantning ene og alene langs den første banen **200** (path1). En tid  $t_L = t_{pipe}(L)$  blir brukt til å betegne en forplantningstid for Lamb-bølger langs en distanse  $L$  som nevnt foran. Et pulsutbrudd indikert ved **470**, blir mottatt med mottakertransduseren som et resultat av ultralydstrålingen som er eksitert ved hjelp av utbruddet av pulser som forplanter seg langs den andre banen **210** (path2); idet denne andre banen **210** som nevnt foran, innbefatter flere småstråler som har innbyrdes like forplantningstidsforsinkelser. En tidsdifferanse  $\Delta t$  mellom mottakelse av pulsutbruddene **460**, **470** er gitt ved ligning 20 (lign. 20):

$$\Delta t = (t_2 + t_5 - t_L) + (t_3 + t_4) \quad \text{lign. 20}$$

I ligning 20 er uttrykkene i den venstre parenteser definert av Lamb-bølgeforplantning i veggene **110** i ledningen **120**, påvirket av strømmingen **130** i fluidet ved at avstanden  $X$  blir modifisert, mens uttrykkene i den høyre parenteser representerer forplantningstiden i fluidet, som ikke ble påvirket av strømmingen i fluidet. Ligning 20 blir fortrinnsvis beregnet i anordningen **300** for oppstrøms- og nedstrømsretningene i forhold til strømmingen. Som vist tidligere i ligningene 15 til 18, kan uttrykkene i den høyre parenteser i ligning 20 relateres til fasehastigheten  $c_p$  for Lamb-bølgen i veggene **110** og til dimensjonen  $D$  for å tilveiebringe en meget nøyaktig beregning av fluidstrømningshastigheten  $v$  såvel som lydshastigheten  $c$  i fluidet **130**. Denne forbedrede beskrivelsen av forplantningsforsinkelsene gjør det enklere å bruke Lamb-bølger i en ultralydstrømningsmåler ved å unngå antakelsen om lydforplantning langs en fast bane.



Transduserne **100A**, **100B** i kombinasjon med ledningen **120** og utformingen av pulsutbruddene, er fortrinnsvis formet slik at pulsutbruddene **460**, **470** når de blir mottatt ved den mottakende transduseren, er tidsmessig veldefinerte og tidsmessig kompakte. En slik karakteristikk blir oppnådd ved å sikre at alle småstråler som

5 illustrert på fig. 2 og fig. 4, som eksiteres av Lamb-bølgekobling fra veggen **110** til fluidet **130** og omvendt, har en innbyrdes lignende verdi for en sum av tidene ( $t_3+t_4$ ). Det er f.eks. gunstig at ledningen **120** har en konstant nominell diameter for dimensjonen  $D$  og en konstant tykkelse av veggen **110** over et område mellom transduserne **100A**, **100B**, f.eks. innenfor mindre enn en terskelvariasjon i

10 dimensjoner langs denne lengden mellom transduserne **100A**, **100B**. Terskelverdien er fortrinnsvis mindre enn 10%, helst mindre enn 3% og aller helst mindre enn 1%. Signalbehandlingsenheten **320** er eventuelt tilknyttet en taktenhet eller klokke med høy nøyaktighet, f.eks. basert på en kvartskrystallresonator for nøyaktig måling av tider for pulsene **450**, **460**, **470** for henholdsvis oppstrøms- og nedstrømsretningene,

15 for å generere parametre for bruk i beregninger representert ved ligningene 15 til 18 (lign. 15 til 18) som utføres i signalbehandlingsenheten **320** for beregning av fluidstrømningshastighet  $v$  og/eller lydshastighet  $c$  i fluidet **130**. Foreliggende oppfinnelse representerer følgelig et betydelig fremskritt sammenlignet med konvensjonelle løsninger, fordi bidrag fra forskjellige feilkilder er blitt fjernet.

20 Anordningen **300** er egnet for ytterligere utvikling, f.eks. å frembringe en strømningsmåleanordning som generelt antydnet ved **500** på fig. 6, hvor ledningen **120** er forsynt med en strømningsbegrensning **510**, f.eks. en Venturi-strømningsbegrensning som genererer et differansetrykk som reaksjon på en strømning av et fluid **130** gjennom begrensningen, som blir avfølt av en trykksensor **520** hvis

25 trykkindikerende utgangssignal  $S_P$  blir koblet til signalbehandlingsenheten **310**. Strømningsbegrensningen **510** er eventuelt implementert i form av en aktivert ventil for å regulere fluidstrømning, f.eks. en ventil innrettet for å koble om en retning av fluidstrømningen mellom et antall forskjellige ledninger i et undergrunnsnett av borehull i forbindelse med oljeutvinning, karbondioksid-innfangning og -lagring. En

30 transduser i trykksensoren **520** er alternativt montert foran begrensningen **510** og en annen transduser i trykksensoren **520** er montert på begrensningen **510** som illustrert, selv om andre plasseringer av transduserne i trykksensoren **520** er

gjennomførbare. Venturi-strømningsbegrensningen **510** er eventuelt også utstyrt med en temperatursensor **530** for måling av en temperatur i strømmingen av fluidet **130**, hvor et temperaturindikerende signal  $S_T$  også blir levert til signalbehandlingsenheten **310**. Måling av strømningshastigheten  $v$  ved å bruke ligningene 15 til 18, 5  
temperaturen  $S_T$  til fluidet **130** og trykkdifferansen  $S_P$  gjør det mulig å beregne en viskositet for fluidet **130** og/eller densiteten til fluidet **130**, og derved fremskaffe innsikt vedrørende beskaffenheten til sammensetningen av fluidet **130**, f.eks. å bestemme dens bestanddeler når fluidet **130** er en flerfaseblanding.

Signalbehandlingsenheten **310** er alternativt innrettet for å monitorere den 10  
tidsmessige formen av pulsutbruddene **460**, **470** og justere én eller flere av periodene  $T_2$  og  $T_3$  for å fremskaffe en eventuell tidsmessig form for pulsutbruddene **460**, **470** for å tilveiebringe en mest mulig nøyaktig bestemmelse av pulstider for anvendelse i ligningene 15 til 18 når disse utføres i databehandlingsenheten **320**. En slik justering av  $T_2$  og  $T_3$  kan utføres hurtig ved hjelp av en iterativ algoritme for en 15  
situasjon hvor strømmingen av fluid **130** i ledningen **120** er kvasi-konstant. En slik justering kan innbefatte, men er ikke begrenset til, hyppig justering av pulsskuren **450**.

På fig. 7 er det vist en valgfri utførelsesform av en strømningsmåleanordning ifølge foreliggende oppfinnelse for måling av rommessige differensialstrømninger 20  
inne i ledningen **120**. Veggene **110** i ledningen **120** er eventuelt implementert til å ha en hovedsakelig sirkulær profil som illustrert i tverrsnitt. Par med transdusere **100A**, **100B** er anordnet langs og omkring veggene **110** til ledningen **120** slik at de andre banene **210** for hvert sett **600A**, **600B**, **600C** av transduserne **100A**, **100B** skjærer fluidet **130** ved forskjellige vinkler. Settene med transdusere **600A**, **600B**, **600C** er 25  
koblet til signalbehandlingsenheten **310**. Signalbehandlingsenheten **310** er dessuten innrettet for å betjene settene med transdusere **600A**, **600B**, **600C** hurtig i rekkefølge, f.eks. på en multiplekset måte, eller simultant på en hovedsakelig samtidig måte. For en hovedsakelig rommessig uniform strømning av fluid **130** i ledningen **120** genererer settene med transdusere **600A**, **600B**, **600C** i samvirke 30  
med sin signalbehandlingsenhet **310** hovedsakelig like signaler. Når strømmingen av fluidet **130** er ikke-uniform, f.eks. når et lag med sandsediment **610** strømmer langsommere ved bunnområdet av ledningen **120** som ellers er fylt med f.eks. olje

og vann, vil imidlertid signalene som genereres ved å benytte settene med transdusere **600A**, **600B**, **600C** være innbyrdes forskjellige; idet denne differansen kan benyttes av signalbehandlingsenheten **310** til å karakterisere en ikke-uniform beskaffenhet av strømmingen i ledningen **120**. Ledningen **120** kan alternativt være utstyrt med par av transdusere **100A**, **100B** omkring sin omkrets, f.eks. parene **600** som er implementert med mellomrom på  $72^\circ$ . Transduserne **100A**, **100B** i settene med transdusere **600A**, **600B**, **600C** er anordnet langs ledningen **120** på en måte som skissert på fig. 2 og fig. 4.

Anordningen **300**, **500** er alternativt implementert slik at lydsignaldempningen i den første banen **200** kan overvåkes for å tilveiebringe en inngang til en frekvensavstemningsalgoritme for å justere driften av anordningen **300**, **500** for å oppnå optimal energioverføring i fluidet **130**. En måling av dempningen blir alternativt brukt som et første mål på fluiddensiteten, basert på dempningen av en foretrukket densitet-sensitiv modus som hovedsakelig er proporsjonal med et akustisk impedansforhold mellom fluidet og ledningen.

Som en ytterligere modifikasjon av anordningen **300**, **500**, er det alternativt gjennomførbart å bruke transduserne **100A**, **100B** på en passende modifisert form, f.eks. ved å innbefatte et antall ytterligere elementer i disse som er egnet for å eksitere ledede bølgeomodi med fremherskende tangensial bevegelse på overflaten av ledningsveggen **110** mellom transduserne **100A**, **100B**. Slik skjærbevegelse kobles hovedsakelig fra veggen **110** mellom transduserne **100A**, **100B** til fluidet **130** som en funksjon av viskositeten til fluidet **130** og gjør det dermed mulig å beregne fluidviskositet basert på målinger av dempning av ledet modus. Det vises til fig. 8 hvor det er vist en illustrasjon av en første modifisert form av anordningen **300** på fig. 3; den første modifiserte anordningen på fig. 8 er generelt antydnet ved **700**. Anordningen **700** innbefatter integrert i husene til transduserne **100A**, **100B** ytterligere transdusere **710A**, **710B** for å generere og/eller motta ledede bølger **720** som forplanter seg inne i én eller flere vegger **110** og som delvis kobles til fluidet **130** inne i ledningen **120** på en måte som blir påvirket av viskositeten til fluidet **130**; hvor en komponent  $\gamma$  blir brukt til å betegne densiteten eller viskositeten. Anordningen **700** er fordelaktig ved at en rommessig samlokalisering av transduserne **100A**, **710A** i likhet med transduserne **110B**, **710B** i samme hus med tilhørende forbindelseskabler gjør

det mulig å oppnå større funksjonalitet for en gitt fysisk dimensjon av anordningen. En andre modifisert versjon av anordningen **300** på fig. 3 er også illustrert på fig. 8 og generelt angitt ved **800**. Den modifiserte anordningen **800** har sine transdusere **100A**, **100B** og **710A**, **710B** rommessig og innbyrdes separert langs ledningen **120**. I anordningen er transduserne **710A**, **710B** eventuelt på en seksjon av ledningen **120** som kan brukes som en selvstendig viskositetsmålingsanordning, nemlig uavhengig av transduserne **100A**, **100B** som brukes til måling av strømningshastighet  $v$  og lydshastighet  $c$ .

Bruk av anordningen **300**, **700**, **800** til måling av flerfasestrømninger vil nå bli belyst enda mer detaljert.

**Situasjon 1:** Et enfasefluid **130** strømmer inne i ledningen **120**. Anordningen **300** måler strømningshastigheten  $v$  for enfasefluidet. Lydshastigheten  $c$  i enfasefluidet **130** vil forbli konstant for en gitt temperatur i fluidet **130**.

**Situasjon 2:** Et tofasefluid **130** blander strømninger inne i ledningen **120**. Anordningen **300** måler strømningshastigheten  $v$  og lydshastigheten  $c$  i strømmingen. Lydshastigheten  $c$  varierer mellom  $c_1$  og  $c_2$  i henhold til en andel mellom de første og andre fasene som er tilstede i strømmingen, hvor  $c_1$  er lydshastigheten i den første fasen med andel  $\phi_1$ , og  $c_2$  er lydshastigheten i den andre fasen med andel  $\phi_2$ , slik som ifølge ligning 21:

$$\begin{aligned} c &= \phi_1 c_1 + \phi_2 c_2, \\ 1 &= \phi_1 + \phi_2 \end{aligned} \qquad \text{lign. 21}$$

Ligning 21 blir løst under drift i databehandlingsenheten **310**.

**Situasjon 3:** En trefasefluid-blanding **130** strømmer inne i ledningen **120**. Anordningen **600**, **700**, **800** måler strømningshastigheten  $v$ , lydshastigheten  $c$  og densiteten eller viskositeten  $\gamma$  slik at ifølge ligning 22:

$$\begin{aligned} c &= \phi_1 c_1 + \phi_2 c_2 + \phi_3 c_3, \\ 1 &= \phi_1 + \phi_2 + \phi_3, \\ \gamma &= \phi_1 \gamma_1 + \phi_2 \gamma_2 + \phi_3 \gamma_3 \end{aligned} \qquad \text{lign. 22}$$

Hvor  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  er relative andeler av de tre fasene,  $c_1, c_2, c_3$  er lyd hastigheter i de respektive tre fasene og  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  er viskositeter eller densiteter for de respektive tre fasene. Parameterne i ligning 22 (lign.22) blir i praksis påvirket av temperatur og trykk i ledningen **120**.

5           Én eller flere ytterligere sensorer kan alternativt være innbefattet i anordningen **500, 700, 800** for avføling av strømmingen av fluid **130** og derved måling av sammensetningen av fire eller flere faser som er tilstede i ledningen **120**.  
 10           Én eller flere elektromagnetiske sensorer, temperatursensorer, elektriske resistanssensorer kan f.eks. være innbefattet i anordningen **300, 500, 700, 800** for å forbedre måling av ytelse og funksjonalitet. Temperatur- og trykkmålinger for bruk i beregninger i signalbehandlingsenheten **310** blir alternativt fremskaffet fra eksterne trykk- og/eller temperatursensorer til anordningen **300, 500, 700, 800**.

            Som nevnt foran, vil man forstå at signalbehandlingsenheten **310** alternativt kan være anordnet på et fjerntliggende sted i forhold til transduserne **100A, 100B**,  
 15 f.eks. for å kunne takle de barske miljøene hvor høye temperaturer blir påtruffet, f.eks. nede i borehull, i undergrunnsinstallasjoner og borehullsnettverk. Foreliggende oppfinnelse vil med hell også kunne anvendes i luftfartssystemer, slik som brensel-forsyningssystemer til luftfartøyer og rakettmotorer, i forbindelse med kjemiske  
 20 oppbevaring av kjernefysisk avfall, i matbehandlingsanlegg, i karbondioksid-innfangning og -lagringssystemer for å nevne noen få mulige installasjoner.

            Modifikasjoner av utførelsesformer av den oppfinnelsen som er beskrevet i det foregående, er mulig uten å avvike fra rammen for oppfinnelsen slik den er definert i de vedføyde patentkravene.

25           Uttrykk slik som "innbefattende", "omfattende", "inkorporerende", "bestående av", "som har", "som er" brukt til å beskrive og kreve beskyttelse for foreliggende oppfinnelse, er ment å skulle oppfattes på en ikke-begrensende måte, nemlig å tillate artikler, komponenter eller elementer som ikke eksplisitt er beskrevet, for også å kunne være tilstede. Referanse til entall er også ment å skulle oppfattes å vedrøre  
 30 flertallsformene.

Tall som er innbefattet i parentes i de vedføyde patentkravene, er ment å bidra til en forståelse av kravene og skal ikke på noen måte oppfattes som begrensende for de trekk som angis i disse kravene.

Patentkrav

1. Strømningsmåleanordning (300, 500) for måling av en strømning av et fluid (130) i en ledning (120) som innbefatter én eller flere vegger (110), hvor anordningen (300, 500) innbefatter et transduserarrangement (100A, 100B), innbefattende minst én transduser for å utsende ultralydstråling i strømningen (130) og minst én transduser for å motta ultralydstråling fra strømningen (130) under drift, og et signalbehandlingsarrangement (310) for å generere signaler for å eksitere transduserarrangementer (100A, 100B) og for å behandle de mottatte signalene som tilveiebringes av transduserarrangementet (100A, 100B) for å generere utgangssignaler fra signalbehandlingsarrangementet (310) som er en indikasjon på egenskaper ved strømningen, karakterisert ved at
- transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) er innrettet for å frembringe en første bane (200) ene og alene via den eller de flere veggene (110) for ultrasonisk Lamb-bølgestrålekobling direkte fra den minst ene transduseren for utsendelse av ultralydstråling til den minst ene transduseren for å motta ultralydstråling for å generere et første mottatt signal;
- hvor transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) er innrettet for å tilveiebringe minst én andre bane (210) for forplantning av ultralydstråling inne i den ene eller de flere av veggene (100) via Lamb-bølgekobling til i det minste en del av strømningen (130) fra den minst ene transduseren for å utsende ultralydstråling til den minst ene transduseren, for å motta ultralydstråling for å generere et andre mottatt signal; og
- signalbehandlingsarrangementet (310) er innrettet for å bestemme, fra de første og andre signalene, forplantningstidsperioder for ultralyd gjennom den første banen (200) og gjennom den minst ene andre banen (210) i oppstrøms- og nedstrøms-strømningsretningene, og for å utføre beregningsmessige operasjoner på forplantningstidsperiodene for å bestemme de nevnte egenskapene for strømningen i forhold til minst én av: en strømningshastighet ( $v$ ) for fluidet (130) i ledningen (120), en lydshastighet ( $c$ ) gjennom fluidet (130).

2. Anordning (300, 500) ifølge krav 1, hvor anordningen (300, 500) er innrettet for å beregne strømningshastigheten ( $v$ ) for fluidet (130) og/eller lydhastigheten ( $c$ ) i fluidet (130) fra forplantningstidsperiodene i kombinasjon med data vedrørende fasehastighet for Lamb-bølger i den ene eller de flere veggene (110) i ledningen (120), og en transversal dimensjon ( $D$ ) for ledningen (120).
3. Anordning (300, 500) ifølge krav 1, hvor forplantningstidsperiodene via et antall av den minst ene andre banen (210) er innbyrdes tidsmessig like for å forsyne signalbehandlingsenheten (310) med en enkelt tidspuls (470) eller et pulsutbrudd (470) for å utføre tidsmålinger for å bestemme fluidstrømningshastigheten ( $v$ ) og/eller lydhastigheten ( $c$ ).
4. Anordning (300,500) ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor anordningen (300, 500) er innrettet for å innbefatte og/eller være montert til en seksjon av ledningen (120) som har en hovedsakelig konstant transversal dimensjon ( $D$ ) med hensyn til en aksial retning (230) for ledningen (120) i et område mellom transduserne (100A, 100B) i transduserarrangementet (100A, 100B), hvor den konstante transversale dimensjonen ( $D$ ) gjør det mulig å forplantningstidsforsinkelser via den minst ene andre banen (210) for å bli innbyrdes tidsmessig like.
5. Anordning (500) ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor ledningen (120) innbefatter minst én strømningsbegrensning (510) for å generere en trykkdifferanse over denne som reaksjon på en fluidstrømning gjennom begrensningen, og hvor anordningen (500) innbefatter en trykksensor (520) for måling av trykkdifferansen som er utviklet over den minst ene strømningsbegrensningen (510), og generering av et trykksignal ( $S_p$ ) som en indikasjon på trykkdifferansen for signalbehandlingsarrangementet (310), og et temperatursensorarrangement (530) for måling av en temperatur og/eller en temperaturdifferanse for strømmingen av fluid (130), for å forsyne signalbehandlingsarrangementet (310) med et temperatursignal ( $S_T$ ) som er en indikasjon på temperaturen og/eller temperaturdifferansen, og hvor signalbehand-



lingsarrangementet (310) er innrettet for å benytte trykket og/eller trykkdifferansen, temperaturen og/eller temperaturdifferansen og strømningshastigheten for fluidet til å bestemme en viskositets- og/eller densitetsmåling for fluidet (130).

- 5 6. Anordning (300, 500) ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor transduserarrangementet (100A, 100B) innbefatter et antall transduserpar (100A, 100B) for måling av rommessig forskjellige fluidstrømninger i ledningen (120).
7. Anordning (300, 500) ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, hvor  
10 transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med signalbehandlingsarrangementet (310) er innrettet for å eksitere ledede bølgemodi med fremhersket tangensial overflatebevegelse, hvor bølgemodiene er av en beskaffenhet for å bli koblet inn i fluidet (130) som en funksjon av en viskositet for fluidet (130), og hvor signalbehandlingsarrangementet (310) er operativt for å måle  
15 dempning av bølgemodiene i den nevnte ene eller de flere veggene (110) for måling av en viskositet for fluidet (130) i ledningen (120).
8. Anordning (300, 500, 700) ifølge et hvilket som helst av kravene 1 til 7, hvor anordningen (300, 500, 700) er innrettet for å utføre strømningsmålinger i minst én  
20 av:
- (a) brønnhullsanvendelser;
  - (b) i undersjøiske anvendelser;
  - (c) i vanninjeksjonssystemer;
  - (d) i gassinjeksjonssystemer;
  - 25 (e) i karbondioksid-lagringssystemer;
  - (f) i olje- og/eller gassproduksjon;
  - (g) i borehull for geotermisk energiproduksjon;
  - (h) i reguleringssoner i flersone olje- og/eller gass- og/eller vannbrønner;
  - (i) ved styring av én eller flere ventiler for regulering av fluidstrømninger; og
  - 30 (j) i kjemiske produksjonsanordninger for bruk til regulering av kjemikalieinjeksjon i disse.

9. Fremgangsmåte for måling av en strømning av et fluid (130) i en ledning (120) som innbefatter én eller flere vegger (110),

karakterisert ved at fremgangsmåten innbefatter:

- 5 (a) å anordne et transduserarrangement (100A, 100B) for å innbefatte minst én transduser for utsendelse av ultralydstråling i strømningen (130) og minst én transduser for mottakelse av ultralydstråling fra strømningen (130), og å anordne et signalbehandlingsarrangement (310) for å generere signaler for å eksitere transduserarrangementet (100A, 100B), og for å behandle mottatte signaler levert av transduserarrangementet (100A, 100B);
- 10 (b) å sørge for at transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) tilveiebringer en første bane (200) ene og alene via den ene eller de flere veggene (110) for ultrasonisk Lamb-bølgestrålingskobling direkte fra den minst ene transduseren for utsendelse av ultralydstråling, og den minst ene transduseren for å motta ultralydstråling for generering av et første mottatt signal;
- 15 (c) å sørge for at transduserarrangementet (100A, 100B) i samvirke med ledningen (120) tilveiebringer minst én andre bane (210) for forplantning av ultralydstråling i den ene eller de flere veggene (100) via Lamb-bølgkobling til i det minste en del av strømningen (130) fra den minst ene transduseren for utsendelse av ultralydstråling til den minst ene transduseren for mottakelse av ultralydstråling for
- 20 å generere et andre mottatt signal; og
- (d) å sørge for at signalbehandlingsarrangementet (310) bestemmer, fra de første og andre signalene, ultrasoniske strålingsforplantningstidsperioder gjennom den første banen (200) og gjennom den minst ene andre banen (210) i oppstrøms- og nedstrøms-retningene, og å utføre beregningsmessige operasjoner på forplantningstidsperiodene for å bestemme de nevnte egenskapene ved strømningen i forbindelse
- 25 med minst én av: en strømningshastighet for fluidet (130) i ledningen (120), en lyd hastighet gjennom fluidet (130).

10. Fremgangsmåte ifølge krav 9, hvor beregning av strømningshastigheten ( $v$ )

30 for fluidet (130) og/eller av lyd hastigheten ( $c$ ) i fluidet (130) fra forplantningstidsperiodene blir utført i kombinasjon med anvendelse av data som er relatert til

fasehastigheten for Lamb-bølger i den ene eller de flere veggene (110) i ledningen (120) og en tverrdimensjon ( $D$ ) for ledningen (120).

11. Fremgangsmåte ifølge krav 9, innbefattende å sørge for at forplantnings-  
5 tidsperioden via et antall av den minst ene andre banen (210) blir innbyrdes  
tidsmessig like for å forsyne signalbehandlingsenheten (310) med en enkelt tidspuls  
(470) eller et enkelt tidsutbrudd (470) for å utføre tidsmålinger for å bestemme  
fluidstrømningshastigheten ( $v$ ) og/eller lydhastigheten ( $c$ ).
- 10 12. Fremgangsmåte ifølge et hvilket som helst av kravene 9 til 11, innbefattende å  
sørge for at en seksjon av ledningen (120) har en hovedsakelig konstant transversal  
dimensjon ( $D$ ) i forbindelse med en aksial retning (230) for ledningen (120) i et  
område mellom transduserne (100A, 100B) i transduserarrangementet (100A,  
100B), hvor den konstante transversale dimensjonen ( $D$ ) muliggjør  
15 forplantningstidsforsinkelser via den minst ene andre banen (210) å bli innbyrdes  
tidsmessig like.
13. Fremgangsmåte ifølge et hvilket som helst av kravene 9 til 12, innbefattende å  
sørge for at minst én strømningsbegrensning (510) blir innbefattet i ledningen (120)  
20 for å generere en trykkdifferanse over denne som reaksjon på fluidstrømning  
gjennom begrensningen, og måling ved å bruke en trykksensor (520) av en  
trykkdifferanse utviklet over den minst ene strømningsbegrensningen (510) og/eller  
inne i ledningen (120), og generering av et trykksignal ( $S_p$ ) som en indikasjon på  
trykkdifferansen og/eller trykket for et signalbehandlingsarrangement (310), og et  
25 temperatursensorarrangement (530) for måling av en temperatur og/eller en  
temperaturdifferanse i fluidstrømningen (130) for å forsyne  
signalbehandlingsarrangementet med et temperatursignal ( $S_T$ ) som er indikasjon på  
temperaturen og/eller temperaturdifferansen, og å benytte i  
signalbehandlingsarrangementet (310), trykkdifferansen, temperaturen og  
30 strømningshastigheten for fluidet til å bestemme en viskositets- og/eller  
densitetsmåling for fluidet (130).

14. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 9 til 13, innbefattende å sørge for at transduserarrangementet (100A, 100B) innbefatter et antall transduserpar (100A, 100B) for måling av rommessige differensielle fluidstrømninger i ledningen (120).

- 5 15. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 9 til 14, hvor fremgangsmåten er innrettet for å utføre strømningsmåling i minst én av:
- (a) brønnhullsanvendelser;
  - (b) undersjøiske anvendelser;
  - (c) vanninjeksjonssystemer;
  - 10 (d) gassinjeksjonssystemer;
  - (e) karbondioksid-lagringssystemer;
  - (f) olje- og/eller gassproduksjonssystemer;
  - (g) borehull for geotermisk energiproduksjon;
  - (h) reguleringssoner i brønner for produksjon av olje og/eller vann;
  - 15 (i) styring av én eller flere ventiler for regulering av fluidstrømninger; og
  - (j) kjemisk produksjonsapparat for bruk ved regulering av kjemikalieinjeksjon.
- 20 16. Programvareprodukt registrert på en datamaskinlesbar databærer, hvor programvareproduktet kan utføres på beregningsutstyr (320) for utførelse av en fremgangsmåte som angitt i ett av kravene 9 til 15.

1/8

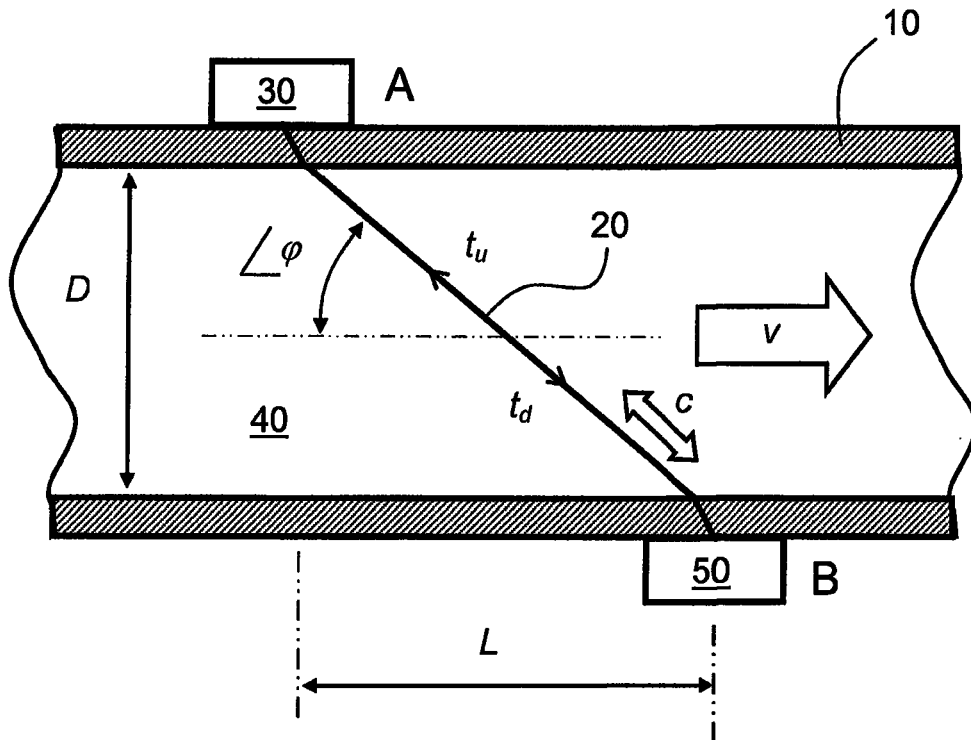


FIG. 1

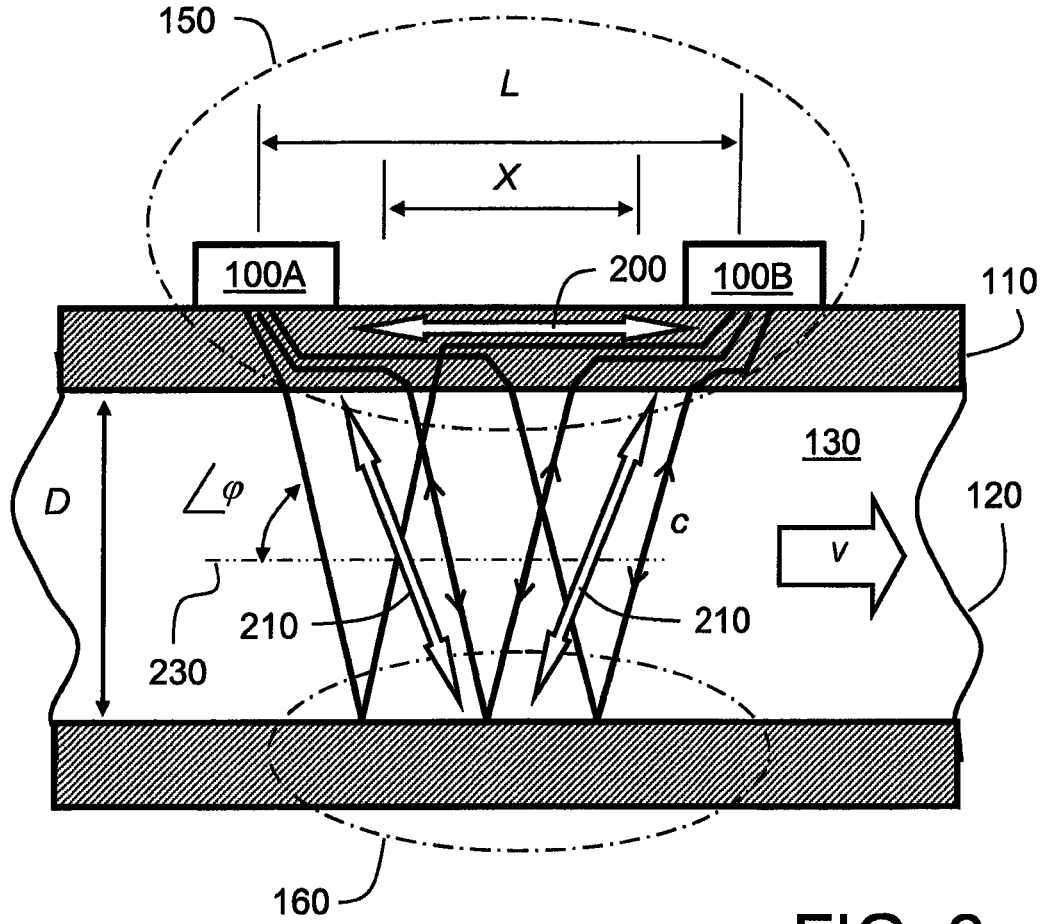


FIG. 2

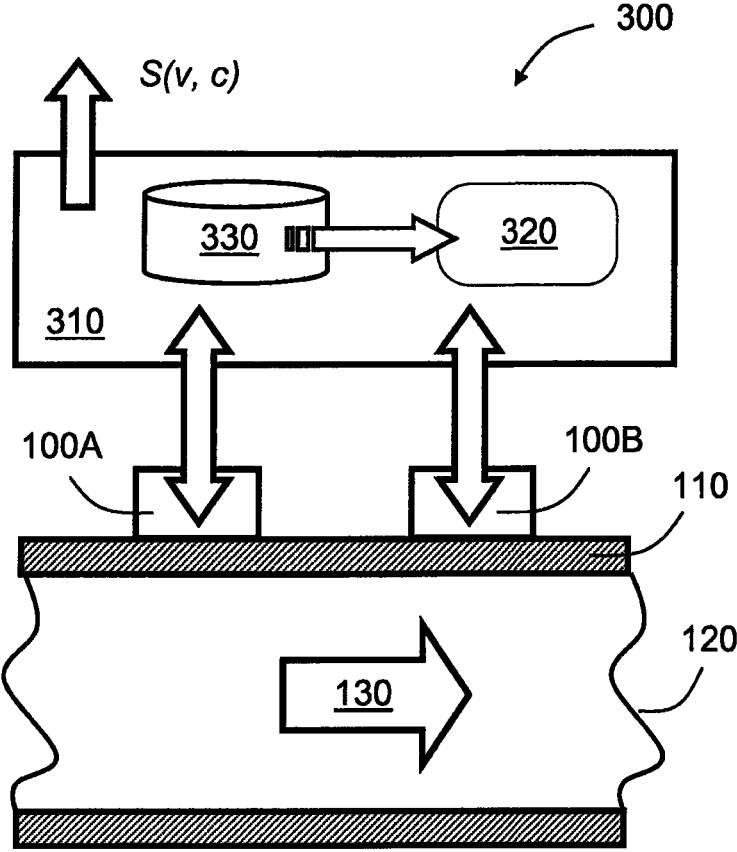


FIG. 3

4/8

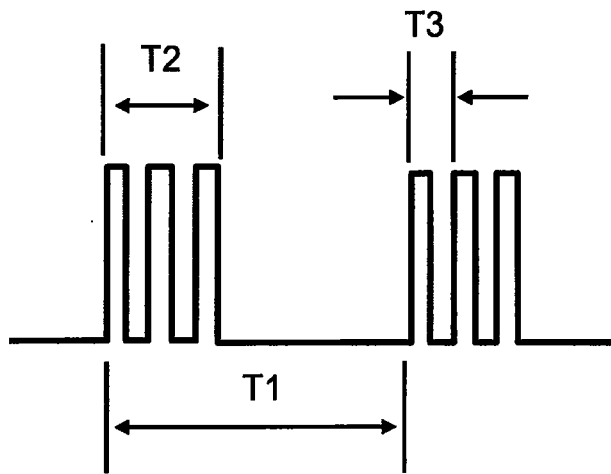
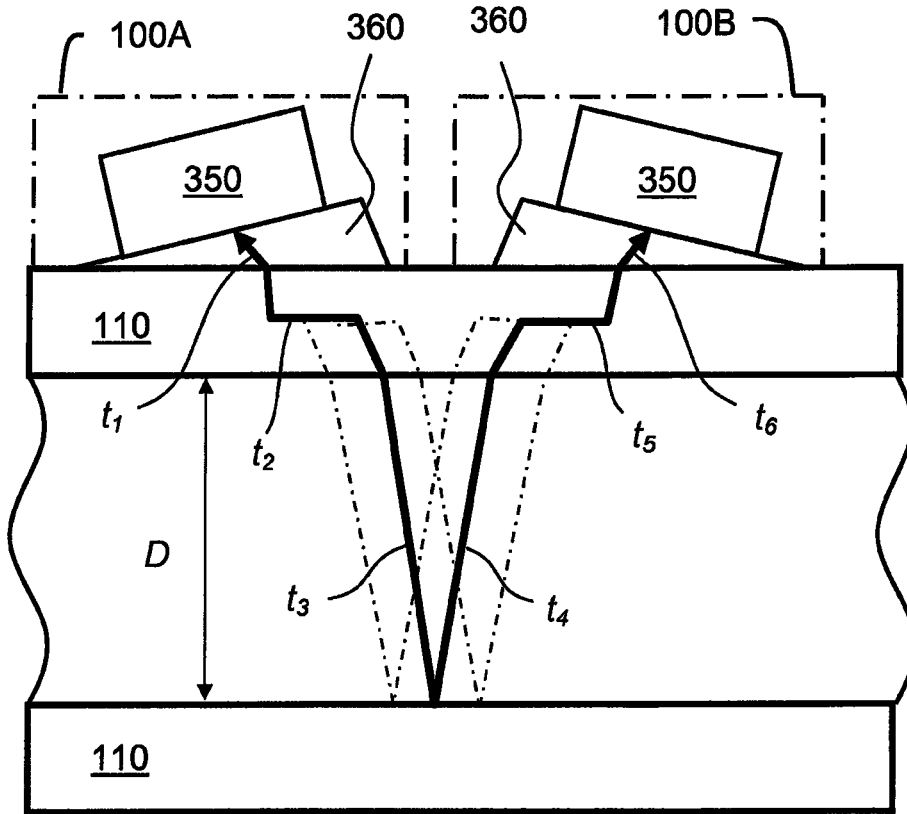


FIG. 4



5/8

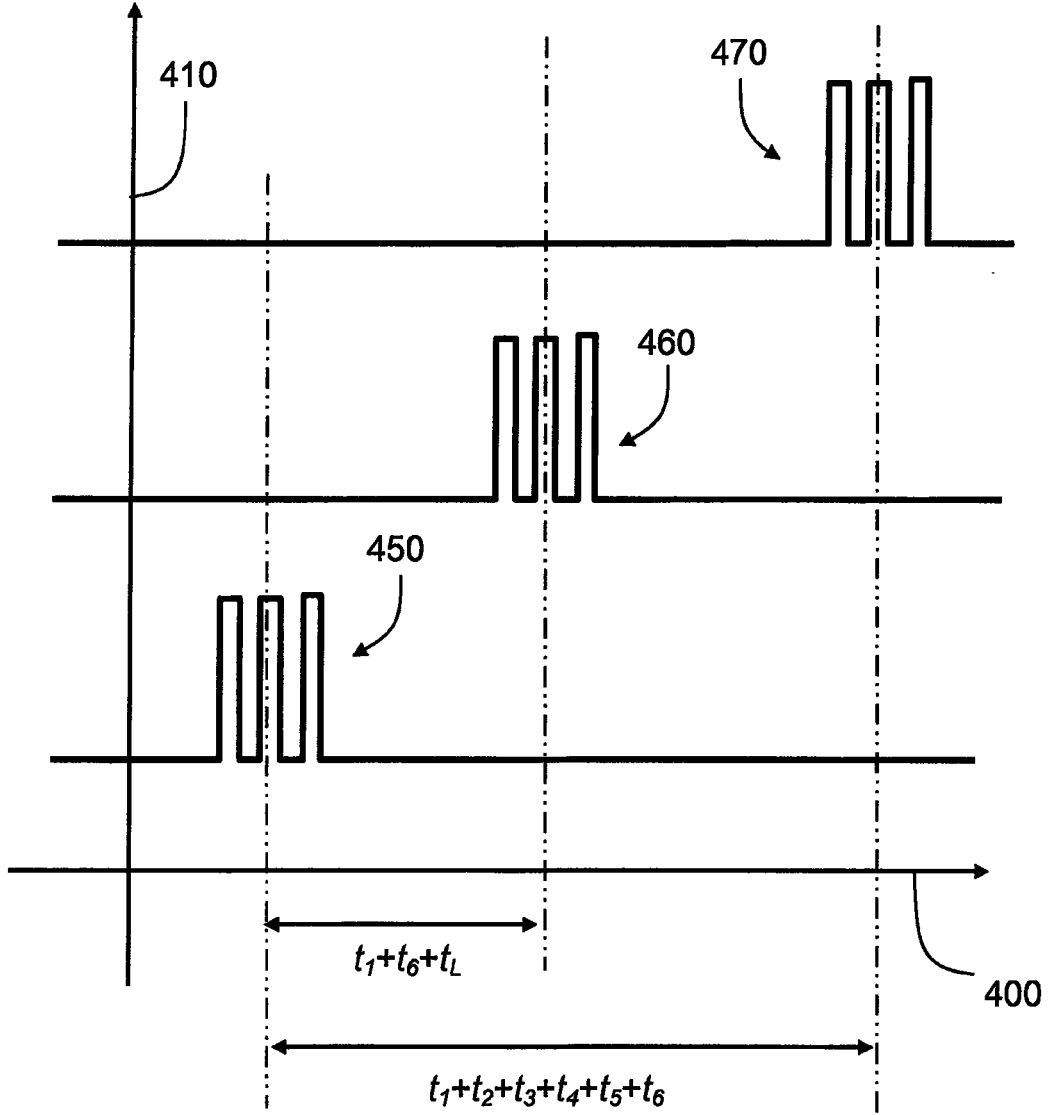


FIG. 5

6/8

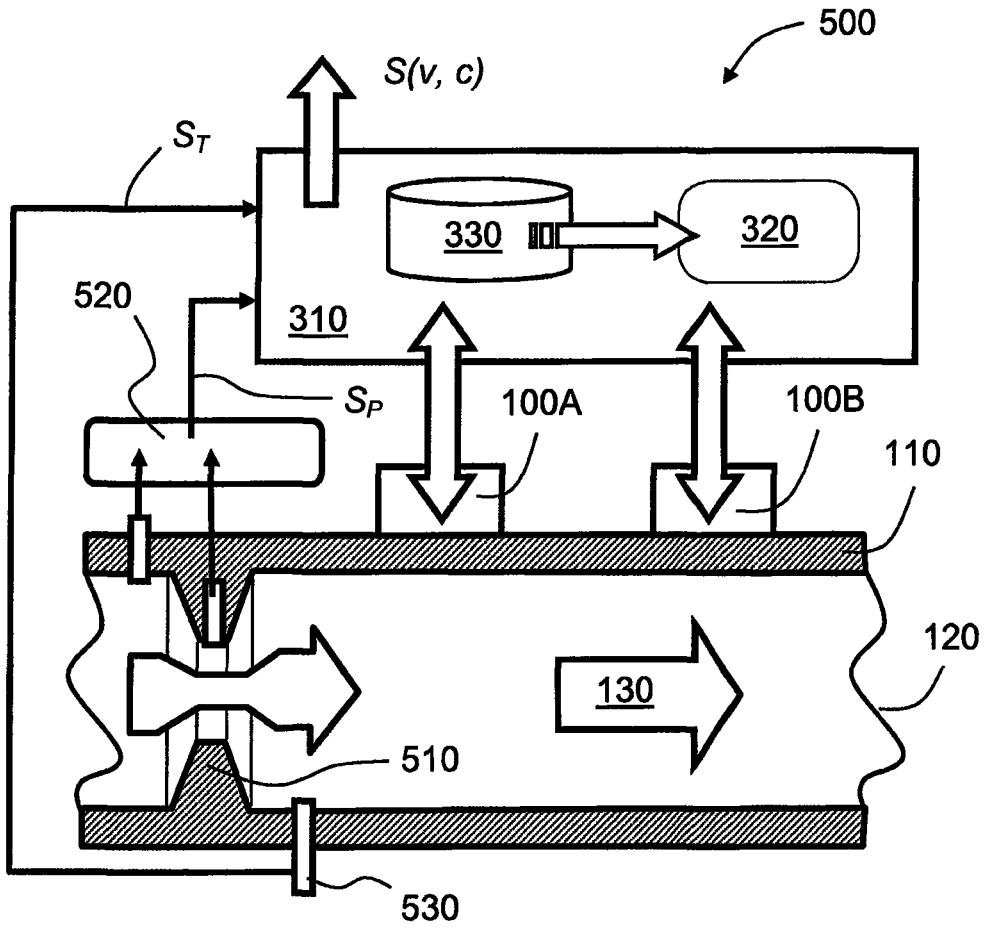
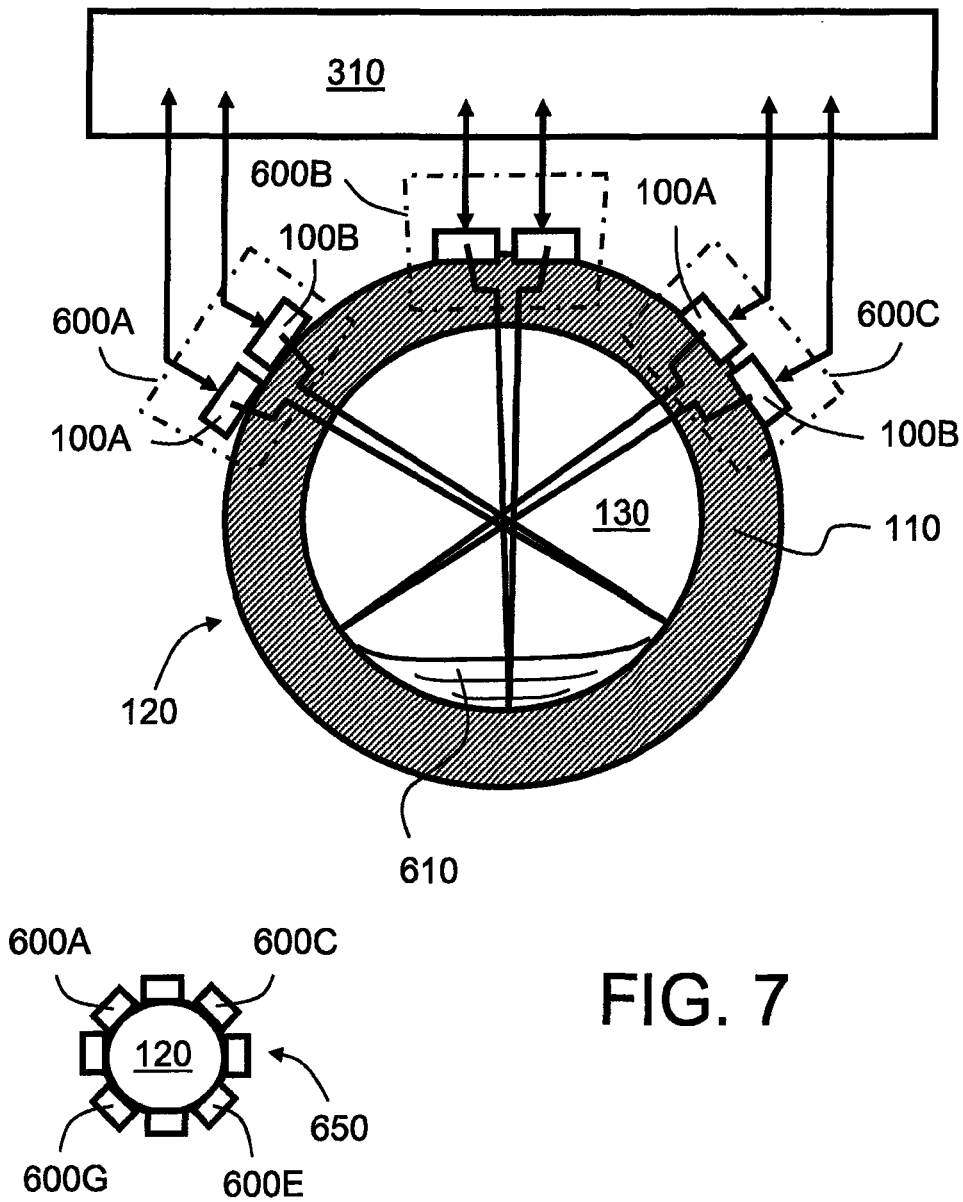


FIG. 6

7/8



8/8

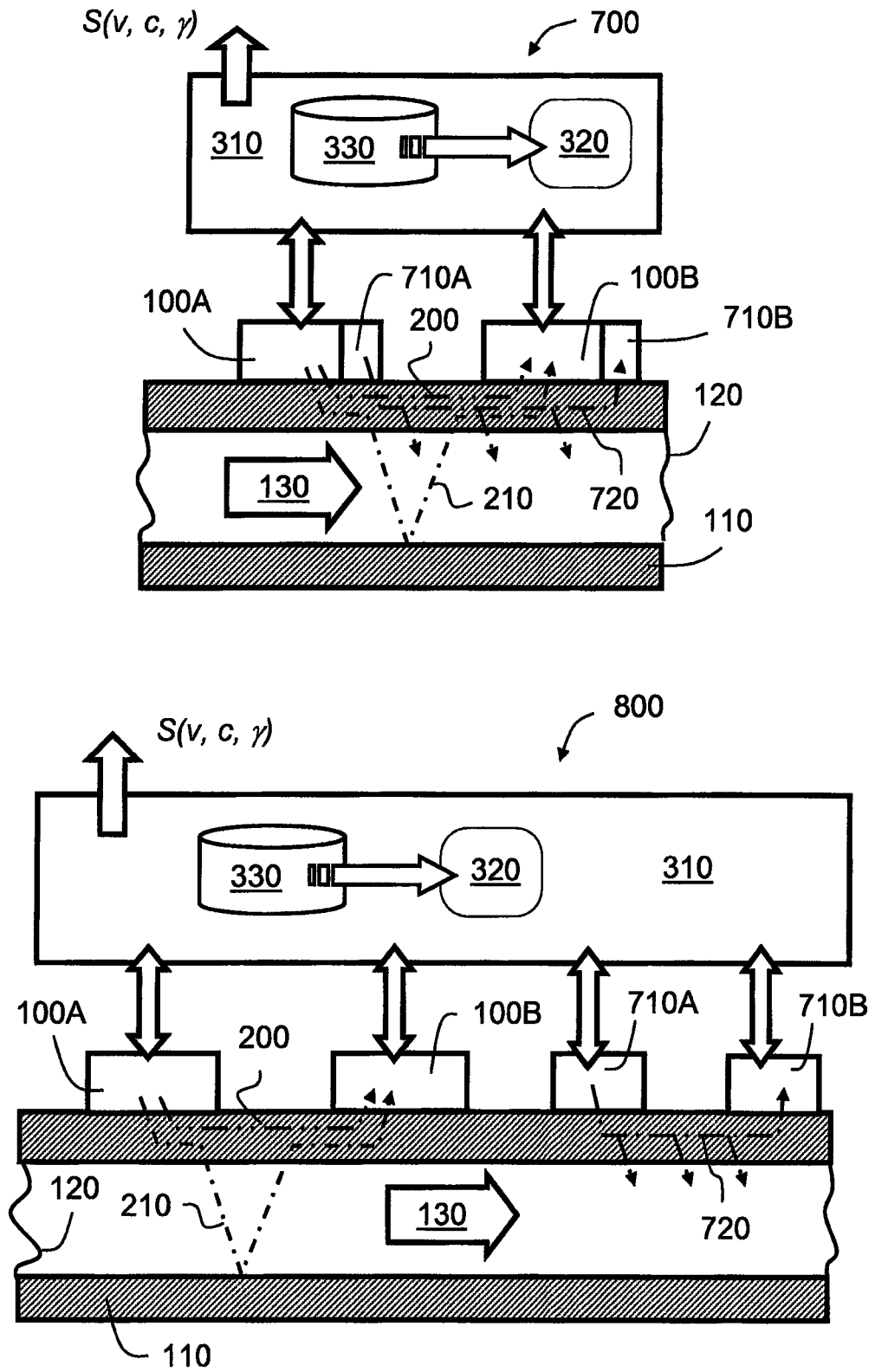


FIG. 8