



(12) **PATENT**

(11) **345532**

(13) **B1**

NORGE

(19) **NO**

(51) **Int Cl.**

G01F 1/66 (2006.01)

G01F 1/708 (2006.01)

G01F 1/712 (2006.01)

G01F 1/74 (2006.01)

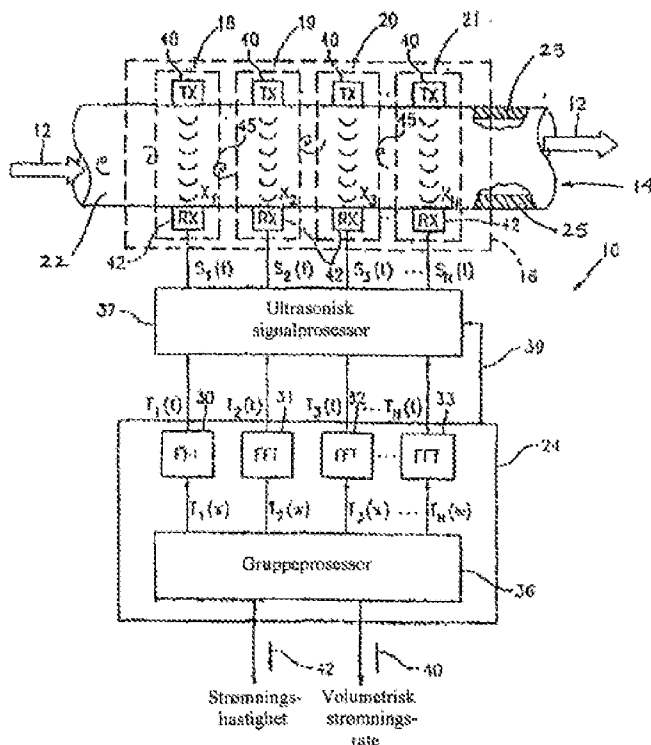
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20092191	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2007.11.08 PCT/US2007/084077
(22)	Inng.dag	2009.06.08	(85)	Videreføringsdag	2009.06.08
(24)	Løpedag	2007.11.08	(30)	Prioritet	2006.11.09, US, 60/858,323
(41)	Alm.tilgj	2009.08.05			
(45)	Meddelt	2021.03.29			

(73)	Innehaver	Expro Meters Inc, 50 Barnes Park North, CT06492 WALLINGFORD, USA
(72)	Oppfinner	Michael A Davis, 172 Stevens Lane, CT06033 GLASTONBURY, USA
(74)	Fullmektig	ZACCO NORWAY AS, Postboks 488, 0213 OSLO, Norge

(54)	Benevnelse	Apparat og fremgangsmåte for måling av en fluidstrømparameter innenfor en intern passasje i et langstrakt legeme
(56)	Anførte publikasjoner	WO 2004063675 A2, US 6062091 A, WO 2004063675 A2, US 005011279 A1
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte og et apparat for å måle minst én parameter av at et fluid som strømmer gjennom en innvendig passasje av et langstrakt legeme er tilveiebrakt. Den innvendige passasje er anbrakt mellom en første vegg og en andre vegg, og den første og andre vegg vil hver omfatte en innerflate og en ytterflate. Fremgangsmåten omfatter trinnene med å tilveiebringe en rekke av minst to ultrasoniske følerenheter som overfører ultrasoniske signaler ved en eller flere frekvenser vesentlig sammenfallende med minst én frekvens ved hvilken de overførte ultrasoniske signaler resonnerer i den første vegg, mottar de ultrasoniske signaler med følerenhetene, og behandler de mottatte ultrasoniske signaler for å måle den minst ene parameter av fluidstrøm i den innvendige passasjen.



Foreliggende oppfinnelse er relatert til området for å prosessere ultralydsignaler, og mer bestemt til apparater og fremgangsmåter for å bruke ultralydsignaler til å måle en eller flere parametere i en fluid som strømmer i en intern passasje i et langstrakt legeme.

5 Strømningsmeters som bruker ultralydtransdusere kan bli brukt til å føle fluidstrømningsegenskaper, slik som hastighet, volumetrisk strømningsrate etc. Krysskorrelasjon av data fra ultralydstrømningsmeters (CCUF) for eksempel, kan måle tiden som kreves for ultralydstråler å bli sendt tvers over en strømningsvei i to aksielt forskjellige steder langs et rør. Innenfor dette måleprinsippet vil variasjoner i overføringstid være antatt å
10 være korrelert med egenskaper som har konveksjon med strømminger, slik som virvelstruktur, inhomogeniteter i strømmingssammensetning og temperaturvariasjoner, for å nevne noen få.

CCUF-er bruker høyfrekvente akustiske signaler, dvs. ultralyd, for å måle mye lavere
15 frekvenser, tidsvarierende egenskaper i strukturer i strømmingen. Som i alle andre krysskorrelasjonsbaserte strømningsmetermålinger bør de fysiske forstyrrelsene som forårsaker overføringstidsvariasjoner beholde noen grad av koherens over avstanden mellom de to sensorene. CCUF-er er typisk mye mer robuste i forhold til variasjoner i fluidsammensetning enn andre ultralydbaserte strømningsmålefremgangsmåter, slik
20 som overføringstid og Doppler-baserte fremgangsmåter.

Overføringstid, definert som tiden som kreves for en ultralydstråle å bre seg over en gitt avstand kan denne bli målt ved å bruke en radielt opplinjert ultralydsender og mottaker. For en homogen fluid med ingen tversgående hastighetskomponenter som strømmer i et
25 uendelig stivt rør vil overføringstiden være gitt av følgende relasjon:

$$t=D/A_{\text{mix}}$$

30 hvor "t" er overføringstiden, D er diameteren til røret, og A_{mix} er hastigheten til lyden som brer seg gjennom fluidet.

I en slik strømming vil en variasjon i overføringstid være analog med en variasjon i lyd-
hastigheten i fluidet. I virkelige fluider vil det imidlertid være mange mekanismer som kan forårsake små variasjoner i overføringstid som forblir romlig koherente over
35 flere rørdiametere. For enkeltfasestrømminger vil variasjoner i tversgående hastighetskomponent forårsake variasjoner i overføringstid. Variasjoner i termofysiske egenskap-

er i et fluid, slik som temperatur eller sammensetning, vil også forårsake variasjoner. Mange av disse effektene har konveksjon med strømmingen. Dermed vil påvirkning av tversgående hastighet i fluidet være assosiert med koherente virvelstrukturer på overføringstid som muliggjør overføringstidsbaserte målinger å være passende for krysskorrelasjonsstrømningsmålinger for strømnings med uniformt sammensatte egenskaper. Kombineringen av følsomhet overfor hastighetsfeltforstyrrelser og overfor sammensetningsforandringer gjør overføringstidsmålinger vel passende for både enkelt- og multi-faseanvendelser.

10 Selv om CCUF-er virker over et stort område av strømmingssammensetninger vil standard overføringstid i ultralydstrømningsmetere (TTUF) være mer utbredt brukt. TTUF-er tenderer til å kreve relativt godt oppførende fluider (dvs. enkeltfasefluider) og veldefinert kopling mellom transduser og fluidet i seg selv. TTUF-er er avhengig av å sende og å ta imot ultralydssignaler som har noen komponenter i sin utbredelse i linje med strømmingen. Mens dette kravet ikke gir noe signifikant problem for i linje, fuktede transdusere TTUF-er, er det en utfordring for innretninger som klemmes på ved å innføre forholdet mellom lydshastighet i røret i forhold til fluidet som en viktig operativ parameter. Påvirkningen av denne parameteren leder til pålitelighets- og nøyaktighetsproblemer med påklemte TTUF-er.

20 Signal-til-støyforhold (dvs. forholdet mellom ønsket signal til et støysignal som ikke inneholder noen hensiktsmessig informasjon) er svært ofte et spørsmål ved strømningsmetere som bruker ikke-fuktede ultralydsensorer som sender og mottar signaler gjennom veggene i beholderen (dvs. rør) hvor fluidet som strømmer passerer. I tillegg vil forskjeller i materialegenskaper mellom rørveggene og fluidstrømmingen som beveger seg i dette kunne skape impedansulikheter som hindrer signalutbredelse. Dempede signaler minker uønsket signal-til-støyforholdet, og likeledes minkes nøyaktigheten i informasjonen som er tilgjengelig fra signalet. Følgelig vil det være ønskelig å anordne en fremgangsmåte for å forbedre styrken og kvaliteten til et signal fremstilt og mottatt av en ultralydsensorenhet brukt innenfor et strømningsmeter, og et apparat som kan virke for å gjøre det samme.

WO2004063675 A beskriver et apparat og en metode for å måle strømningshastigheten til et fluid som strømmer gjennom et rør som inkluderer minst to ultralydsensorenheter anordnet på forhåndsbestemte steder langs røret. Hver sensorenhet inkluderer en ultralydsender og en ultralydmottaker. Hver sensorenhet tilveiebringer et respektive

signal som indikerer en parameter for transittiden eller amplituden til ultralydsignalet som forplanter seg mellom hver respektive ultralydsender og ultralydmottaker.

US6062091 A omhandler et apparat for å bestemme ankomsttiden til et lydsignal som
5 overføres gjennom et fluidmedium som strømmer i en beholder omfattende en sender for å generere et lydsignal for overføring gjennom fluidet.

US2005011279 beskriver et ultralydstrømningsmåler av Doppler-type som har et ultralydoverføringsmiddel for å sende ut ultralydimpulser fra en ultralydstransduser til
10 et fluidrør, et strømningshastighetsprofilmålingsmiddel for å motta et ultralydekkoreflektert fra et måleområde i fluidrøret for derved å måle en strømningshastighetsprofil av et fluid som skal måles, et fluidstrømningshastighetsberegningsmiddel for å beregne strømningshastigheten derav på grunnlag av strømningshastighetsprofilen til fluidet som skal måles, og et frekvensvalg- og innstillingsmiddel for automatisk valg av en
15 grunnleggende frekvens for en ultralyd bølge som får et resonansoverføringsfenomen til å finne sted fra ultralydtransduseren.

Det er derfor en hensikt med den foreliggende oppfinnelse å gi en fremgangsmåte for å forbedre styrken og kvaliteten til et signal fremstilt og mottatt av en ultralydsensorenhet
20 brukt innenfor et strømningsmeter, og et apparat som er opererbart til å gjøre det samme.

I henhold til foreliggende oppfinnelse vil en fremgangsmåte for å måle i det minste én parameter i et fluid som strømmer gjennom en intern passasje i et langstrakt legeme, der
25 den interne passasjen er lagt ut mellom en første vegg og en andre vegg, og den første veggen og den andre veggen inkluderer hver en indre overflate og en ytre overflate, fremgangsmåten innbefatter: å anordne en matrise med i det minste to ultralydsensorenheter, hver sensorenhet inkluderer en ultralydsender montert på den ytre overflaten av den første veggen og en ultralydmottaker plassert på den ytre overflaten
30 av den andre veggen og opplinjert med senderen, der hver sensorenhet videre inkluderer en tilbakekoplet ultralydmottaker plassert på den ytre overflaten av den første veggen, og hver tilbakekoplet mottaker er opererbart til å ta imot ultralydsignaler sendt fra senderen og reflektert innenfor den første veggen, å operere ultralydsenderne til å sende ultralydsignaler gjennom den første veggen på en eller flere frekvenser sammenfallende
35 med i det minste én frekvens på hvilket de sendte ultralydsignalene har resonans

innenfor den første veggen, på en slik måte at det øker signal-til-støy forholdet til ultralydsignalet ved bruk av resonansen i ultralydsignalet innenfor den første veggen for å øke amplituden til ultralydsignalet som beveger seg gjennom den første veggen og således øker amplituden av ultralydsignalene sendt inn i internpassasjen, å monitorere
5 resonansen av ultralydsignalene innenfor den første veggen ved å bruke tilbakemeldingssignaler produsert av den tilbakekoblede ultralydmottakeren i hver sensorenhet, idet tilbakemeldingssignalene er representative for resonansen til ultralydsignalene innenfor den første veggen, å ta imot ultralydsignalene med ultralydmottakerne, og å prosessere de mottatte ultralydsignalene for å måle i det minste
10 én parameter til fluidstrømmen innenfor den interne passasjen.

I henhold til foreliggende oppfinnelse vil et apparat for å føle strømming innenfor en intern passasje i et rør, der passasjen er lagt ut mellom en første vegg i røret og en andre vegg i røret, apparatet innbefatter: en matrise med i det minste to ultralydsensorenheter,
15 hver sensorenhet inkluderer en ultralydsender montert på en ytre overflate av den første veggen og en ultralydmottaker plassert på en ytre overflate av den andre veggen og opplinjert med senderen for å ta imot ultralydsignaler sendt fra denne; og en prosessor tilpasset til å operere ultralydsenderne til å sende ultralydsignaler gjennom den første veggen på en eller flere frekvenser sammenfallende med i det minste én frekvens på
20 hvilket de sendte ultralydsignalene har resonans innenfor den første veggen i røret, på en slik måte at det øker signal-til-støy forholdet til ultralydsignalet ved bruk av resonansen i ultralydsignalet innenfor den første veggen for å øke amplituden til ultralydsignalet som beveger seg gjennom den første veggen og således øker amplituden av ultralydsignalene sendt inn i intern passasjen, og tilpasset til å ta imot signaler fra
25 ultralydmottakerne; der hver sensorenhet videre inkluderer en tilbakekoplet ultralydmottaker plassert på en ytre overflate av den første veggen og hver tilbakekoplet mottaker er opererbar med senderen for å ta imot ultralydsignaler sendt fra senderen og reflektert innenfor den første veggen, og hvor prosessoren er videre tilpasset til å monitorere resonansen til ultralydsignalet innenfor den første veggen ved å bruke
30 tilbakemeldingssignaler produsert av den tilbakekoblede ultralydmottakeren i hver sensorenhet, idet tilbakemeldingssignalene er representative for resonansen til ultralydsignalene innenfor den første veggen.

De foregående og andre hensikter, egenskaper og fordeler med foreliggende oppfinnelse vil bli mer åpenbare sett i lys av kravene og følgende detaljerte beskrivelse av
35 eksempler på utførelser av den.

De ovenfor og andre hensikter, egenskaper og fordeler i henhold til foreliggende oppfinnelse vil bli mer åpenbare fra en betraktning av den etterfølgende detaljerte beskrivelsen presentert i samband med de vedlagte tegninger, hvor:

5 Figur 1 er et blokkdiagram over et strømningsmeter som har en matrise med ultralyd-sensorenheter lagt ut aksielt langs et rør for å måle volumetrisk strømming i fluidet som strømmer i røret, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

10 Figur 2 er et blokkdiagram over en alternativ utførelse av en følerinnretning i et strømningsmeter utført i henhold til foreliggende oppfinnelse tilsvarende det som er vist i figur 1.

Figur 3 er et tverrsnitt av et rør som har en turbulent rørstrømning som har koherente strukturer i seg, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

15 Figur 4 er en frekvens-amplitudegrad som viser sendte spektra, med høye topper i amplitude som representerer resonansbetingelser.

20 Figur 5 er en frekvens-amplitudegrad som viser reflekterte spektra, med skarpe dalbunner i amplitude som representerer resonansbetingelser.

Figur 6 er en skjematisk representasjon som illustrerer anvendelsen av en signalmoniteringsteknikk hvor en dipp i en frekvens av w er anvendt på en fundamental resonansfrekvens F_r .

25 Med referanse til figur 1 er et strømningsmeter, generelt vist som 10, som er anordnet for å måle hastigheten og/eller volumetrisk strømningsrate i en enkeltfasefluid 12 (dvs. gass, væske eller væske/væskeblanding) og/eller multifaseblanding 12 (dvs. prosessstrøm) som strømmer gjennom et langstrakt legeme som har en intern passasje slik som et rør 14. or å forenkle beskrivelsen er uttrykket "rør" brukt her for heretter å referere til det forannevnte "langstrakte legeme". Foreliggende oppfinnelse er imidlertid ikke begrenset til bruk av sirkulære tverrsnittsrør. Multifaseblandingen kan ha en tofase væske/gassblanding, en fast/gassblanding eller en fast/væskeblanding, gass som er fanget i væske eller en trefaseblanding.

35

Strømningsmeteret 10, som er utført vist i figur 1, inkluderer en følerinnretning 16 innbefattende en matrise med ultralydsensorenheter 18-21. Matrisen inkluderer i det minste to ultralydsensorenheter og kan ha så mange som "N" antall av ultralydsensorenheter hvor "N" er et heltall. Hver sensorenhet innbefatter et par av ultralydsensorer 40, 42, én av disse virker som en sender (Tx) 40 og den andre som en mottaker (Rx) 42. Sensorenhetene 18-21 er i avstand fra hverandre aksielt langs den ytre overflaten 22 av et rør 14 som har en prosessstrømning 12 som brer seg i dette på steder $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$, respektivt. Avstandene mellom sensorenhetene bør være kjent eller bestembar, men behøver ikke nødvendigvis å være uniform. I utførelsen vist i figur 1 er paret av sensorer 40, 42 innenfor hver sensorenhet diametralt lagt ut på røret for å gi en gjennomføringssendingskonfigurasjon slik at sensorene som sender og mottar et ultralydsignal som brer seg gjennom fluidet vesentlig er ortogonale på retningen til strømmingen av fluidet innenfor røret. Ultralydsensorene 18-21 er klemte på, eller er på annen måte festet til den ytre overflaten 22 av røret 14. Utførelsen vist i figur 1 viser skjematisk sendere 40 festet til en første veggdel 23 i røret 14, og mottakerne 42 er diametralt lagt ut og festet til en andre veggdel 25 i røret 14. Eksternt festede sensorenheter 18-21 kan bli referert til som "ikke-fuktede", som er motsatt til "fuktede" sensorenheter som er i direkte kontakt med prosessstrømningen.

Figur 2 illustrerer en alternativ sensoranordning hvor senderen (Tx) 40 og mottakeren (Rx) 42 i hver sensorenhet 18-21 kan være avvikende aksielt, slik at ultralydsignalet fra sendersensoren har en aksiell komponent i dens utbredelsesretning, som vist i figur 2. Selv om diametralt utlagte sensorer 40, 42 er foretrukket kan sensorene 40, 42 være alternativt enkelt lagt ut mot hverandre på røret. I tillegg kan sensorenhetene 18-21 være på forskjellige radielle steder på røret sammenliknet med hverandre.

Med referanse tilbake til figur 1 vil hvert par av ultralydsensorer 40, 42 være virksomme for å måle en sendertid (dvs. tid for utbredelse (TOF), eller fasemodulasjon) av et ultralydsignal som brer seg gjennom prosessstrømningen 12 fra sendersensoren 40 til mottakersensoren 42. Sendertidsmålingen eller variasjoner indikerer en koherent egenskap som har konveksjon med strømmingen 12 innenfor røret (dvs. virvelsforstyrrelser, inhomogeniteter innenfor strømmingen, temperaturvariasjoner, bobler, partikler, trykkforstyrrelser), som indikerer hastigheten til prosessstrømningen 12. Ultralydsensorene kan operere på praktisk talt enhver frekvens. Det er imidlertid funnet at høyere frekvenssensorer er mer passende for enkeltfasefluider og lavere frekvenssensorer er mer passende for multifasefluider. Den optimale frekvensen til ultralydsensoren er

derfor relatert til størrelsen eller typen av partikkel eller substans som brer seg innenfor strømmingen 12, og er også relatert til resonansfrekvenser i røret som vil bli diskutert nedenfor. Eksempler på frekvens brukt for et strømningsmeter utført i henhold til foreliggende oppfinnelse er 1 MHz og 5 MHz. Ultralydsensorene kan gi en pulset, kvitrende eller kontinuerlig signal gjennom prosessstrømmingen 12. Et eksempel på en sensor 40, 42 som kan bli brukt, er modell nr. 113-241-591, fremstilt av Krautkramer.

Ultralydsignalene injisert inn i røret 14 kan, dersom de er innstilt korrekt, skape en resonansreaksjon innenfor en eller begge veggene 23, 25 i røret 14. Resonansreaksjonen forsterker ultralydsignalet når det går gjennom den første veggen 23, som dermed øker ultralydsignalet som kommer inn i strømmingen innenfor røret 14. Likeledes vil ultralydsignalet som kommer inn i den andre veggen 25 i røret 14 fra strømmingen 12 også kunne bli forsterket av resonansreaksjonen innenfor den andre veggen 25, som dermed øker ultralydsignalet som blir ført av mottakeren. Som et resultat vil signal-til-støy-forholdet i sensorenheten bli forbedret.

Innstillingen av sensorenheten 18-21 for å fremstille en ultralydfrekvens som virker til å skape en resonansreaksjon innenfor et rørsystem kan bli gjort på et utall av forskjellige måter, dvs. ved initielt å samle empiriske data fra en tilsvarende type rørsystem eller det faktiske rørsystemet i seg selv, eller ved innstilling som kan bli gjort i sanntid under bruk av strømningsmetere. For eksempel, drivefrekvensen til senderen kan langsomt bli justert for å maksimalisere gjennomstrømningssignalet, og den relevante frekvensen kan bli identifisert. Sensorenhetene kan bli fininnstilt ved å bruke en dippeteknikk, som beskrevet nedenfor. Figur 4 viser et amplitude-frekvensplott av et rørsystem som er gjenstand for eksitasjonsfrekvenser, hvor de høye toppene indikerer resonansbetingelser.

Med en gang en ultralydfrekvens er opererbar til å skape en resonansreaksjon innenfor røret (dvs. en fundamental resonansfrekvens) som er valgt, vil signalet mottatt av mottakeren 42 i hver sensorenhet 18-21 kunne bli periodisk eller kontinuerlig monitorert til å evaluere om den mottatte signalintensiteten, er optimal. Forandringer i signalintensitet kan opptre på grunn av faktorer slik som temperaturindusert frekvensskift i rørsystemet, frekvensforandringer innenfor driveelektronikken etc. En fremgangsmåte for å monitorere resonansbetingelsen (dvs. å innstille den injiserte frekvensen på resonansbetingelsen), er å putte en lett dipp på den fundamentale resonansfrekvensen (F_r) som illustrert i figur 6. En dipp med en frekvens på w vil indusere en amplitude-

modulasjon på 2w på det mottatte signalet når dippen beveger seg over toppen i resonansbølgeformen. Mottakerelektronikken kan så ha et båndpassfilter på 2w signalet og mate et korreksjonssignal til senderelektronikken for å optimalisere 2w komponenten. Dipping representerer et eksempel på teknikk for å monitorere og å optimalisere signalet mottatt av mottakeren, men er ikke bare den eneste slike teknikken som kan bli
 5 brukt med foreliggende oppfinnelse. For eksempel, andre teknikker inkluderer å innføre en oscillasjon for å hjelpe til å optimalisere den injiserte frekvensen for maksimalt signal, der det maksimale signalet hjelper til å korrelere det mottatte signalet fra støy innenfor systemet.

10

I en alternativ utførelse vil monitorering av resonansbetingelsen kunne bli oppnådd ved å føle signalspektra reflektert innenfor den første veggen i røret. Monitoreringen kan bli utført av senderen som virker som en mottaker, eller den kan bli utført ved å bruke en uavhengig tilbakekoplet mottaker plassert i nærheten av senderen 40 i hver sensorenhet
 15 18-21. I denne utførelsen vil den tilbakekoplete mottakeren monitorere signalspektra reflektert innenfor den første veggen i røret. En prosessor 37 (se nedenfor) er tilpasset til å ta imot signaler fra den tilbakekoplete ultralydmottakeren som er representativ for ultralydsignalene reflektert innenfor den første veggen, og å identifisere et minimums-reflektert signal som indikerer resonansbetingelsen. Figur 5 viser et skjematisk plott av
 20 spektra reflektert innenfor den første veggen. De dype dalene representerer minimums-reflekterte signaler som indikerer resonansbetingelser innenfor røret, mens hoveddelen av energien blir sendt gjennom heller enn å bli reflektert tilbake. I dette tilfellet er det foretrukne operasjonspunktet for sensorenheten 18-21 frekvensen assosiert med minimum (dvs. den dype dalen). Som indikert ovenfor vil ytelsen til sensorenheten kunne bli
 25 monitorert ved å bruke teknikker slik som dipping.

I tillegg til å forbedre ytelsen av sensorenheten 18-21 ved å finne og å bruke en resonansbetingelse, inkluderer også foreliggende oppfinnelse å forbedre ytelsen til sensorenheten ved å bestemme en foretrukket senderpulsvarighet for en sensorenhet 18-
 30 21. Den ovenfor beskrevne resonansreaksjonen bygger inn intensitet innenfor veggen 23, 25 for en tidsperiode, som begynner når den fundamentale reaksjonsfrekvensen først er introdusert i rørveggen 23, 25. Resonansreaksjonen vil nå en maksimumsintensitet (dvs. det sendte signalet når en maksimum amplitude) etter en tidsperiode på hvilket punkt dempingen innenfor rørsystemet forhindrer enhver videre økning i intensitet.
 35 Tidsperiode fra start til den maksimale intensiteten representerer en foretrukket pulsvarighet for det injiserte signalet. Mindre enn den foretrukne pulsvarigheten resulterer i

mindre enn optimal signalforsterkning, og mer enn den foretrukne pulsvarigheten resulterer i ikke noe mer enn den optimale signalforsterkningen. Den foretrukne pulsvarigheten vil likeledes variere fra system til system på grunn av faktorer slik som rørveggtykkelser, materiale, operasjonstemperatur etc., og kan bli bestemt ved å stille inn
 5 systemet før det brukes, eller ved å innstille dette i sann tid mens systemet er i bruk, eller en kombinasjon av begge.

En ultralyd signalprosessor 37 avfyrrer sendersensorene 40 som reaksjon på et avfyrings-signal 39 fra en prosessor 24 og mottar ultralydutgangssignalene $S_1(t)$ - $S_N(t)$ fra mot-
 10 takersensorene 42. Signalprosessoren 37 prosesserer dataene fra hver av sensorenhetene 18-21 for å gi et analogt eller digitalt utgangssignal $T_1(t)$ - $T_N(t)$ som indikerer flukttiden eller sendingstiden til ultralydsignalet gjennom prosesstrømningen 12. Signalprosessoren 37 kan også gi et utgangssignal som indikerer amplituden (eller dempingen) av ultralydsignalene. En slik signalprosessor er modell nr. USPC 2100, fremstilt av
 15 Krautkramer ultralydsystemer. Måling av amplituden til ultralydsignaler er særlig hensiktsmessig og virker godt for å måle hastigheten til et fluid som inkluderer en substans i strømmingen (dvs. multifasefluider eller slam).

Utgangssignalene ($T_1(t)$ - $T_N(t)$) til ultralydsignalprosessoren 37 er anordnet til proses-
 20 soren 24 som prosesserer sendingstidsmålingsdata for å bestemme parameter slik som den volumetriske strømningsraten til prosesstrømningen. Overføringstiden eller flukttidsmålingen er definert av tiden som det tar for et ultralydsignal å bre seg fra sendings-sensoren 40 til den respektive mottakersensoren 42 gjennom rørveggen og prosesstrømningen 12. Effekten av virvelforstyrrelsene (og/eller andre inhomogeniteter innenfor
 25 fluidet) på sendingstiden til ultralydsignalet er å forsinke eller å forkorte sendingstiden. Derfor vil hver følerenhet 18-21 i et respektivt utgangssignal $T_1(t)$ - $T_N(t)$ som indikerer variasjonene i sendingstiden til ultralydsignalene som brer seg ortogonalt i retningen av prosesstrømningen 12. Sendingstidsmålingen er utledet av å tolke den koherente egen-skapen som har konveksjon og/eller karakteristikk innenfor prosessrøret ved å bruke i
 30 det minste to sensorenheter 18, 19.

I ett eksempel måler strømningsmeteret 10 den volumetriske strømningsraten ved å bestemme hastigheten til virvelforstyrrelser 45 (dvs. koherente strukturer slik som
 ”turbulente evjer”, se figur 2), som brer seg innenfor strømmingen 12 ved å bruke
 35 matrisen med ultralydsensorer 18-21. Koherente strukturer 45 er en innebygget egen-skap i turbulente grenselag som er tilstede i alle turbulente strømninger. Ultralydsensor-

enheten 18-21 måler sendingstiden $T_1(t)$ - $T_N(t)$ til de respektive ultralydsignalene mellom hver respektive par av sensorer 40, 42, som varierer på grunn av virvelforstyrrelser, så som disse forstyrrelser som har konveksjon innenfor strømmingen 12 gjennom røret 14 på en kjent måte. Derfor vil hastigheten til disse virvelforstyrrelsene
 5 være relatert til hastigheten til prosessstrømmingen 12, og dermed til den volumetriske strømningsraten som kan bli bestemt. Den volumetriske strømningsraten kan bli bestemt ved å multiplisere hastigheten til prosessstrømmingen 12 ved tverrsnittsarealet til røret.

Den overveldende majoritet av industrielle prosessstrømninger 12 involverer turbulent
 10 strømming. Turbulente fluktasjoner innenfor prosessstrømmen 12 styrer mange av strømmingsegenskapene som har praktisk interesse inkludert trykkfall, varmeoverføring og blanding. For ingeniøranvendelser vil betraktninger bare av tidsgjennomsnittsegenskaper til turbulente strømninger ofte være tilstrekkelig for konstruksjonsformål. For sonarbaserte matriseprosessstrømningsmåleteknologi vil forståelse av tidsgjennomsnitt
 15 av fastighetsprofil i turbulentstrømming 12 gi en måte å tolke relasjonen mellom hastighet, med hvilket koherente strukturer 45 har konveksjon, og den volumetrisk gjennomsnittlige strømningsraten.

Turbulente rørstrømninger 12 er svært komplekse strømninger. Å forutsi detaljer i
 20 enhver turbulent strømming er problematisk, selv om mye er kjent med hensyn til statistiske egenskaper i strømmingen. For eksempel, som indikert ovenfor vil en turbulent strømming inneholde selvgenererende, koherente virvelstrukturer slik som "turbulente evjer" 45. Den maksimale lengdeskalaen for koherente strukturer 45 er satt av diameteren til røret 14. Disse strukturene 45 forblir koherente for flere rørdiameterer
 25 nedstrøms, eventuelt brytes de inn i progressivt mindre strukturer helt til energien er dissipert av viskøse effekter.

Figur 2 illustrerer skjematisk de relevante strømmingsegenskaper til turbulent rørstrømning 12 sammen med en aksiell matrise av ultralydsensorenheter 18-21, der hver sensor-
 30 enhet har en senderenhet 40 og en mottakerenhet 42. Som vist vil tidsgjennomsnittet av aksiell hastighet være en funksjon av radiell posisjon, fra null ved veggen til et maksimum i senterlinjen av røret. Strømmingen 12 når veggen er karakterisert av bratte hastighetsgradienter og transisjoner til relativt uniform kjernestrømming nær senteret av røret 14. Virvelstrukturer (dvs. "turbulente evjer") er overlappet over tidsgjennomsnittet av
 35 hastighetsprofilen. Disse koherente strukturene inneholder tidsvarighetene og romlige tilfeldige fluktasjoner med størrelser som typisk er mindre enn ti prosent (10%) av

gjennomsnittlig strømningshastighet og er båret frem sammen med gjennomsnittsstrømmingen. Eksperimentelle undersøkelser har etablert at turbulente evjer 45, generert innenfor turbulente grenselag, forblir koherente for flere rørdiametere og har konveksjon på grovt åtti prosent (80%) av maksimal strømningshastighet (Schlichting, 1979).

5

Ultralydsensorene gir sendingstidsvarierende signaler $T_1(t)$ - $T_2(t)$, $T_3(t)$, $T_N(t)$ til signalprosessen 24 med kjent Fast Fourier Transform (FFT) logikk 30-33, respektivt. FFT logikken 30-33 beregner Fourier-transformen av de tidsbaserte inngangssignalene $T_1(t)$ - $T_N(t)$ og gir komplekse frekvensdomene (eller frekvensbaserte) signaler $T_1\omega$, $T_2\omega$, $T_3\omega$, $T_N\omega$, som indikerer frekvensinnholdet av inngangssignalene. Teknikker andre enn FFT-er kan bli brukt for å oppnå frekvensdomenekaraktistikkene til signalene $T_1(t)$ - $T_N(t)$. Frekvenssignalene $T_1\omega$ - $T_N\omega$ blir matet til en matriseprosessor 36, som gir et strømningsignal 40 som indikerer den volumetriske strømningsraten til prosessstrømmingen 12 og et hastighetssignal 42 som indikerer hastigheten til prosessstrømmingen.

15

En teknikk for å bestemme konveksjonshastigheten til virvelforstyrrelsene innenfor prosessstrømmen 12 involverer og karakteriserer den konvektive riggen i virvelforstyrrelsene ved å bruke en matrise med ustabile ultralydsensorer eller andre stråleformende teknikker tilsvarende det som er vist i US patentsøknad nr. 09/729.994, innlevert 4. desember 2000, med tittelen "Method and Apparatus for Determining the Flow Velocity Within a Pipe", som her er referert til.

20

Strømningsmetermetodene bruker konveksjonshastigheten til koherent struktur innenfor turbulente rørstrømninger 12 for å bestemme den volumetriske strømningsraten. Konveksjonshastigheten til disse turbulente evjene 45 er bestemt ved å anvende matriseprosesseringsteknikker for å bestemme hastigheten med hvilket evjene har konveksjon forbi den aksielle ultralydsensormatrisen som er distribuert langs røret 14, tilsvarende det som er brukt i radar- og sonarområder. US patentsøknad nr. US 2004/0199340, publisert 7. oktober 2004, som her er referert til, fremlegger et eksempel på en akseptabel matriseprosesseringsteknikk. Den kjente teknikken lærer bort mange kjente matriseprosesseringsteknikker, imidlertid er foreliggende oppfinnelse ikke begrenset til noen bestemt teknikk.

30

Mens foreliggende oppfinnelse er beskrevet som et strømningsmeter som har en matrise med ultralydmetere for å måle hastigheten til virvelforstyrrelser innenfor strømmingen 12, innbefatter foreliggende oppfinnelse at ultralydsensorene 18-21 måler enhver egen-

35

skap og/eller karakteristikk av strømmingen 12 som har konveksjon med strømmingen (dvs. virvelforstyrrelser, inhomogeniteter innenfor strømmingen, temperaturvariasjoner, akustiske bølgevariasjoner som brer seg ut innenfor røret, bobler, partikler, trykkforstyrrelser).

5

Det bør være forstått at enhver av disse egenskapene, karakteristikkene, alternativene eller modifikasjonene beskrevet med hensyn til en bestemt utførelse her kan også bli anvendt, brukt eller innarbeidet med enhver annen utførelse beskrevet her.

10

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å måle i det minste én parameter i en fluidstrømning gjennom en intern passasje i et langstrakt legeme (14), der den interne passasjen er lagt
 5 ut mellom en første vegg og en andre vegg, og den første veggen og den andre veggen inkluderer hver en indre overflate og en ytre overflate, k a r a k t e r i - s e r t v e d at fremgangsmåten innbefatter:

å anordne en matrise med i det minste to ultralydsensorenheter (18-21), hver sensorenhet inkluderer en ultralydsender (40) montert på den ytre overflaten av den
 10 første veggen (23) og en ultralydmottaker (42) plassert på den ytre overflaten av den andre veggen (25) og opplinjert med senderen (40),

der hver sensorenhet (18-21) videre inkluderer en tilbakekoplet ultralydmottaker plassert på den ytre overflaten av den første veggen (23), og hver tilbakekoplet mottaker er opererbar til å ta imot ultralydsignaler sendt fra senderen (40) og reflektert innenfor
 15 den første veggen (23),

å operere ultralydsenderne (40) til å sende ultralydsignaler gjennom den første veggen (23) på en eller flere frekvenser sammenfallende med i det minste én frekvens på hvilket de sendte ultralydsignalene har resonans innenfor den første veggen (23), på en slik måte at det øker signal-til-støy forholdet til ultralydsignalet ved bruk av
 20 resonansen i ultralydsignalet innenfor den første veggen (23) for å øke amplituden til ultralydsignalet som beveger seg gjennom den første veggen (23) og således øker amplituden av ultralydsignalene sendt inn i internpassasjen,

å monitorere resonansen av ultralydsignalene innenfor den første veggen (23) ved å bruke tilbakemeldingssignaler produsert av den tilbakekoblede ultralydmottakeren
 25 i hver sensorenhet (18-21), idet tilbakemeldingssignalene er representative for resonansen til ultralydsignalene innenfor den første veggen (23),

å ta imot ultralydsignalene med ultralydmottakerne (42), og

å prosessere de mottatte ultralydsignalene for å måle i det minste én parameter til fluidstrømmen innenfor den interne passasjen.

30

2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, der trinnene med å få omdannet de mottatte ultralydsignalene inkluderer:

å sammenlikne en frekvens for de sendte ultralydsignalene med den fundamen- tale resonansfrekvens i det utstrakte legemet, og bestemme en forskjell mellom disse to,
 35 og trinnet for operering av ultralydsenderen (40) inkluderer selektivt å stille inn frekvensen til de sendte ultralydsignalene for å sammenfalle med den fundamentale

resonansfrekvensen basert på den bestemte forskjellen mellom frekvensen av det overførte ultralydsignalet og den fundamentale resonansfrekvensen til det langstrakte legemet (14).

5 3. Fremgangsmåte i henhold til krav 2, der trinnene med å sammenlikne og selektivt å stille inn er utført før måling av i det minste én parameter i fluidstrømningen innenfor den interne passasjen til det langstrakte legemet (14).

4. Fremgangsmåte i henhold til krav 2, der trinnene med å sammenlikne og
10 selektivt å stille inn er utført periodisk.

5. Fremgangsmåte i henhold til krav 2, der trinnene med å sammenlikne og selektivt å stille inn er utført kontinuerlig.

15 6. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, der ultralydsenderne (40) er pulset mellom en aktiv periode når ultralydsignalene blir sendt og en inaktiv periode når ultralydsignalene ikke blir sendt, hvor den aktive perioden har en varighet som er tilstrekkelig til å muliggjøre at de sendte ultralydsignalene har resonans innenfor den første vegg (23) for å øke i amplitude med en størrelse som enkelt skiller de sendte
20 ultralydsignalene fra signalstøy.

7. Fremgangsmåte i henhold til krav 6, der under pulsvarigheten til de sendte ultralydsignalene har resonans innenfor den første vegg (23) og når en maksimumsamplitude.

25 8. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, der senderen (40) virker som tilbakekoplingsultralydmottakeren.

9. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, der den tilbakekoplede ultralydmottakeren
30 (42) er uavhengig av senderen (40).

10. Apparat for å føle strømning innenfor en intern passasje i et rør (14), der passasjen er lagt ut mellom en første vegg (23) i røret (14) og en andre vegg (25) i røret (14), k a r a k t e r i s e r t v e d at apparatet innbefatter:
35 en matrise med i det minste to ultralydsensorenheter (18-21), hver sensorenheter (40) inkluderer en ultralydsender montert på en ytre overflate av den første vegg (23)

og en ultralydmottaker (42) plassert på en ytre overflate av den andre veggen (25) og opplinjert med senderen (40) for å ta imot ultralydsignaler sendt fra denne; og

en prosessor (37) tilpasset til å operere ultralydsenderne (40) til å sende ultralydsignaler gjennom den første veggen (23) på en eller flere frekvenser

5 sammenfallende med i det minste én frekvens på hvilket de sendte ultralydsignalene har resonans innenfor den første veggen (23) i røret (14), på en slik måte at det øker signal-til-støy forholdet til ultralydsignalet ved bruk av resonansen i ultralydsignalet innenfor den første veggen (23) for å øke amplituden til ultralydsignalet som beveger seg gjennom den første veggen (23) og således øker amplituden av ultralydsignalene sendt inn i intern passasjen, og tilpasset til å ta imot signaler fra ultralydmottakerne (42);

10 der hver sensorenhet (18-21) videre inkluderer en tilbakeløst ultralydmottaker plassert på en ytre overflate av den første veggen (23) og hver tilbakeløst mottaker er opererbar med senderen (40) for å ta imot ultralydsignaler sendt fra senderen og reflektert innenfor den første veggen (23), og

15 hvor prosessoren (37) er videre tilpasset til å monitorere resonansen til ultralydsignalet innenfor den første veggen ved å bruke tilbakemeldingssignaler produsert av den tilbakeløste ultralydmottakeren i hver sensorenhet (18-21), idet tilbakemeldingssignalene er representative for resonansen til ultralydsignalene innenfor den første veggen (23).

20

11. Apparat i henhold til krav 10, der prosessoren (37) er tilpasset til å ta imot signaler fra den tilbakeløste ultralydmottakeren som er representativ for ultralydsignalene reflektert innenfor den første veggen (23), og å identifisere et minimumsreflektert signal som indikerer resonansbetingelsen.

25

1/3

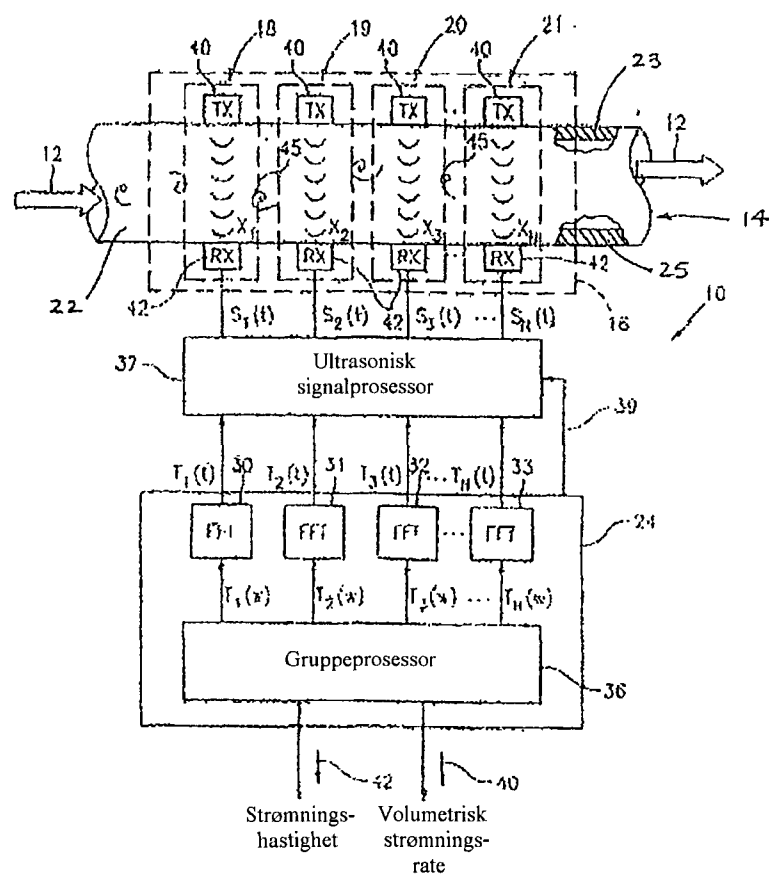


FIG. 1

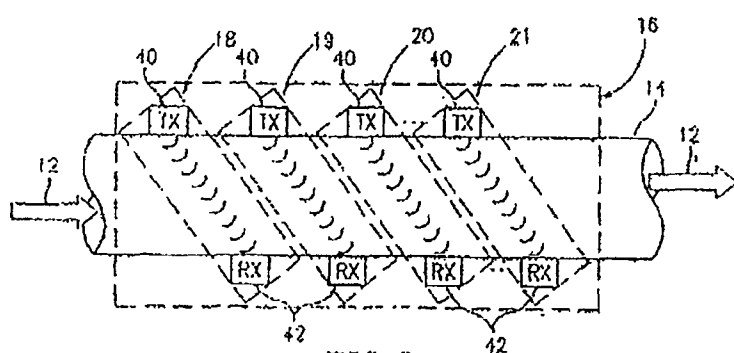


FIG. 2

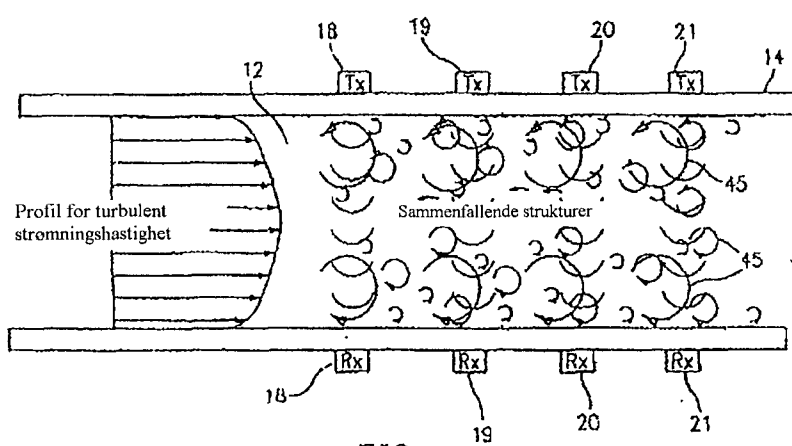


FIG. 3

3/3

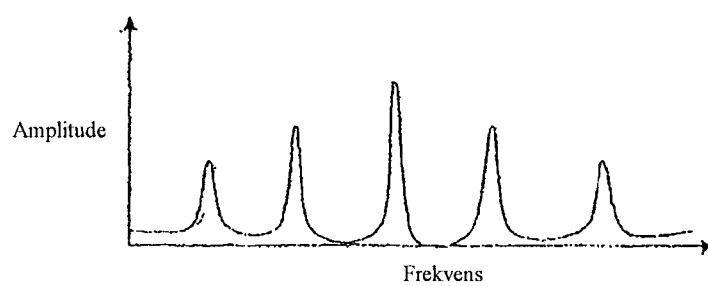


FIG. 4

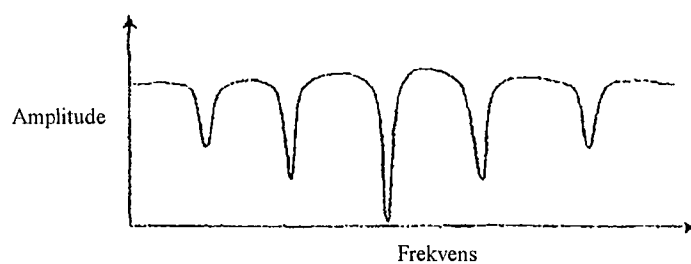


FIG. 5

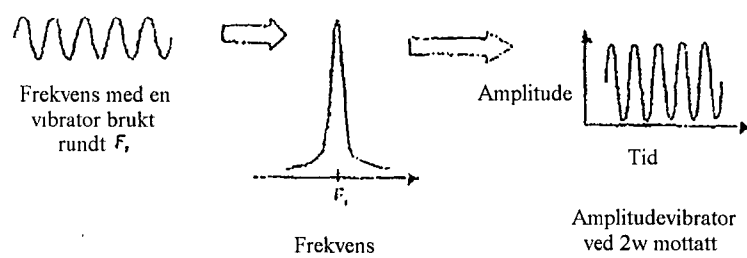


FIG. 6