(12) **PATENT**

(19) NO (11) **340150** (13) **B1**

**NORGE**

(51) Int Cl.
***G01F 1/66 (2006.01)***
***G01F 1/74 (2006.01)***
***G01N 29/024 (2006.01)***
***G01N 29/22 (2006.01)***
***G01N 29/34 (2006.01)***
***G01N 29/42 (2006.01)***
***G01N 33/28 (2006.01)***
***G01N 9/24 (2006.01)***

**Patentstyret**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (21) | Søknadsnr | 20083442 | (86) | Int.inng.dag og søknadsnr | 2007.01.10 PCT/US2007/000872 |
| (22) | Inng.dag | 2008.08.06 | (85) | Videreføringsdag | 2008.08.06 |
| (24) | Løpedag | 2007.01.10 | (30) | Prioritet | 2006.01.11, US, 60/758,382 |
| (41) | Alm.tilgj | 2008.10.03 | | | |
| (45) | Meddelt | 2017.03.13 | | | |
| (73) | Innehaver | Expro Meters Inc, 50 Barnes Park North, US-CT06492 WALLINGFORD, USA | | | |
| (72) | Oppfinner | Daniel Gysing, 763 Chestnut Hill Road, US-CT06033 GLASTONBURY, USA | | | |
| (74) | Fullmektig | Zacco Norway AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, Norge | | | |

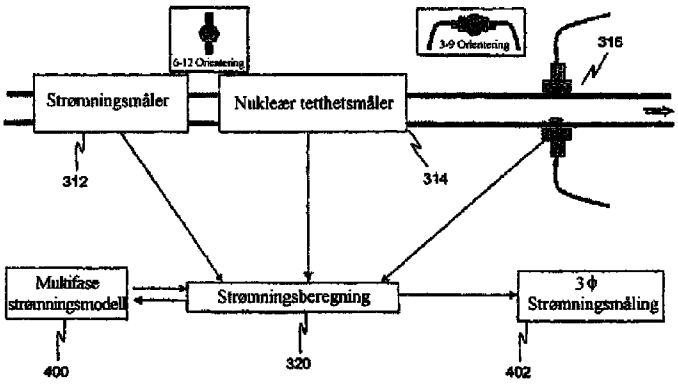
(54) Benevnelse **Apparat og fremgangsmåte for å måle en parameter i en multifasestrøm**

(56) Anførte publikasjoner

US 4491008 A
WO 0169040 A1
US 5083452 A
US 2004168522 A1
US 2005193832 A1
WO 2005116637 A2
WO 0131298 A2
US 5259250 A

(57) Sammendrag

Et apparat er anordnet som bestemmer en karakteristikk i et multifasefluid, slik som luftet olje- og vannfluid, som strømmer i et rør. Apparatet inkluderer et fluidstrømningsmeter, et vannandelsmeter og et tetthetsmeter, hvor tetthetsmeteret bestemmer tettheten til fluidstrømmen for å bestemme gassvolum (eller tom) andel av multifasefluidstrømmen. Utgangssignalet fra hver av metrene er gitt til en multifasestrømningsmodell som gir et flertall av multifaseparametere, slik som faseandel, volumetrisk strømning, massestrøm i hver av fasene til multifaseblandingen, optimalisert for forskjellige strømningsbetingelser. Hver av metrene kan bli sikret til den ytre overflaten av røret ved å bruke forskjellige innretninger, slik som klemmeinnretninger.



Foreliggende oppfinnelse er relatert til et apparat for å måle en parameter i en prosesstrøm som går i et rør, og mer bestemt til et strømningsmåleapparat som har ultralydsensorer og en matrise med belastningsbaserte sensorer og for å prosessere datasignaler fra disse for å gi en utgang som indikerer hastigheten til lyd som brer seg gjennom prosesstrømmen og/eller en strømningsparameter til prosesstrømmen som går gjennom et rør.

I industrielle applikasjoner som involverer strømningsfluider, slik som slam, væsker, kjemikalier, papir, masse, petroleum, gass, farmasøytiske stoffer, mat, gruvedrift, mineraler og damp og gasser i raffineriet, er det noen ganger fordelaktig å kjenne visse karakteristikker til strømningsfluidene. For eksempel, i petroleumsindustrien hvor milliarder av dollar med råolje blir skattemessig målt hver dag på sin vei fra brønnhodene til raffineriene, vil den volumetriske strømningsraten være en kritisk måling i prosesskontroll og optimalisering. Imidlertid er det uheldigvis slik at store mengder av hydrokarboner tenderer til å være tilstede i råolje, og slik sett vil de under transport mellom brønnhodene og raffineriene ha en tilbøyelighet til å "gasse ut" under transporten, som resulterer i mindre, ukjente nivåer av innblandet gass som er tilstede i det skattemessige målingsstedet. Dette er uønsket av minst 2 grunner.

Først, siden effekten av de innblandede gassene i de mest kjente væskevolumetriske teknologiene resulterer i en overrapportering av væskekomponentstrømningsraten med en størrelse som er lik volumet til den innblandede gassen vil den målte volumetriske strømningsraten typisk være unøyaktig. Faktisk er standarder blitt pålagt for volumetrisk strømming. Uheldigvis vil imidlertid de fleste standarder for volumetrisk strømning av væsker for skatteformål kreve at væsken er fullstendig tom for gass, et problem som oppstår siden det er upraktisk å sikre at væskestrømmen som det er spørsmål om virkelig er fullstendig tom for frie gasser. Dette skyldes at selv om gassvolumandel (GVF) nivået typisk er mindre enn 1% er dette ofte den primære kilden for feil i skattemålingen. For det andre, siden den fullstendige separasjonen av gassen og væskefasene ikke kan bli sikret er bestemmelsen av væskevolumet typisk unøyaktig som resulterer i unøyaktige vannandelsverdier. Dermed er det rimelig å forvente at dersom flere karakteristikker er kjent om strømningsfluidet vil være en bedre sjanse for effektivt å måle, kontrollere og å optimalisere prosesseringen av strømningsfluidet.

Nøyaktighet i oljeproduksjonsmåling er begrenset til tre begrensninger. En begrensning involverer mangelen ved å sikre den fullstendige separasjonen av gass og væskestrøm. Denne begrensningen resulterer i unøyaktig væskevolumetrisk bestemmelse, unøyaktig

gassvolumbestemmelse og unøyaktige vannandelsbestemmelse. Den andre begrensningen involverer det relativt lave antallet av strømningsmålinger som er tilgjengelige på grunn av vedlikeholdskrav, isolasjonskrav og trykkfall i punktet hvor man måler i målepunktet. Den tredje begrensningen involverer det svært lave antallet av vannandelsmålepunkter, som skyldes påliteligheten til vannandelsmåleinnretningene og kalibreringskrav av metrene.

I US 4,491,008 er det beskrevet en fremgangsmåte for ultralydmåling av andelen av gassvolumet tilstede i en beholder som inneholder en flytende gassblanding av totalvolumet til beholderen. Spesielt inneholder en beholder vann og damp, hvor en andel av dampen er i form av bobler fordelt i vannet. Transducere sender og mottar høyfrekvente ultralydbølger gjennom vannet og andre transducere sender og mottar lavfrekvente ultralydbølger gjennom vannet. En trykkdetektor bestemmer likevektstrykket til dampen og det boblende vannet inne i tanken.

I WO 01/69040 A1 er det fremvist en metode og et apparat for in-situ karakterisering av nedihullsfluider I en borebrønn ved å benytte utsendete T1 og mottatte R1 akustiske signaler. Borebrønnsverktøyet omfatter tre ett med akustiske transducere vinkelrett på retningen til oljestrømmen i borehullet.

I US 5,083,452 er det fremvist en fremgangsmåte for å registrere multifasestrømmer gjennom et transportsystem hvor signaler med akustisk energi føles av en av flere akustiske sensorer.

I US 2004/0168522 A1 er det fremvist et apparat som måler lydhastigheten og/eller virvelforstyrrelser som propagerer i en enkelfasefluidstrøm og/eller multifaseblanding for å bestemme parametre, slik som en blandingskvalitet, partikelstørrelse, damp/masseforhold, væske/dampforhold, massestrømningsrate, entalpi og volumetrisk strømningsrate i strømmen i et rør, ved å måle akustiske eller dynamiske trykk.

I US 2005/193832 A, omfatter en strømningsmåler et vibrerbart strømningsrør og en driver som er koblet til strømningsrøret som kan opereres slik at den setter strømningsrøret i bevegelse. En sensor er forbundet til strømningsrøret , og er innrettet til å avføle bevegelse av strømningsrøret, og generere et sensorsignal. En kontroller er tilkoblet for å motta sensorsignalet. Kontrolleren kan opereres slik at den bestemmer en individuell strømningshastighet for hver fase i en flerfasestrømning gjennom strømningsrøret.

Dermed vil det være fordelaktig, særlig i olje- og produksjonsområdet, å ha et pålitelig, ikke-inntrengende, påklemt apparat som er i stand til å måle parametrene i en luftet multifasefluidstrømning, slik som den volumetrisk strømningsratevæsken i prosesstrømmen, gassvolumet (eller tom) andel av strømmen, vannandelen til strømmen, og den volumetriske strømningsraten til hver av fasene i strømningen. Foreliggende oppfinnelser gir et slikt apparat.

**Oppsummering av foreliggende oppfinnelse**

Et apparat for å bestemme en karakteristikk i en luftet fluid som strømmer i et rør, hvor apparatet omfatter i det minste en første føleinnretning assosiert med røret. Den i det minste ene første føleinnretningen er konfigurert til å føle en lavfrekvent komponent og en høyfrekvent komponent i den luftede fluidstrømmen, hvor den i det minste ene første føleinnretningen genererer første sensordata som reaksjon på den lavfrekvente komponenten i den luftede fluiden som indikerer lydhastighet ved frekvenser under en bobleresonansfrekvens som er en overgangsfrekvens, hvor lyhastigheten som propagerer gjennom fluidet under overgangsfrekvensen influeres av innblandede gasser, og hvor innblandede gasser ikke har noen signifikant påvirkning over overgangsfrekvensen. Den første føleinnretningen generer også andre sensordata som indikerer en volumetrisk fluidstrømningsrate som reaksjon på den høyfrekvente komponenten i den luftede fluidstrømmen. I tillegg vil i det minste en andre føleinnretning være inkludert og er assosiert med røret for å føle en tetthet eller massestrømningsrate i den luftede fluidstrømmen, og for å generere tredje sensordata som indikerer en tetthet eller en massestrømningsrate reaksjon på tettheten eller massestrømningsmålingen i den luftede fluidstrømmen. Videre er en prosesseringsinnretning inkludert, hvor prosesseringsinnretningen er i kommunikasjon med den i det minste ene første føleinnretningen og den i det minste andre føleinnretningen for å ta imot og prosessere de første sensordataene, de andre sensordataene og de tredje sensordataene for å generere fluidata som reaksjon på en karakteristikk i den luftede fluidstrømmen.

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

**Kort beskrivelse av tegningene**

Det foregående og andre egenskaper og fordeler med foreliggende oppfinnelser vil bli mer fullt forstått fra følgende detaljerte beskrivelse av illustrert utførelse, sett i samband med de vedlagte tegninger hvor like elementer nummerert likt:

Figur 1 er et blokkdiagram over et strømningsmåleapparat som har en matrise med belastningsbaserte sensorer og en matrise med ultralydsensorer for å måle parametere i en multifasestrøm i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 2 er et plott over den målte hastigheten til lyd normalisert til hastigheten av lyd i væsken over et frekvensområde i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 3 er et plott over den målte hastigheten til lyd normalisert til hastigheten av lyd i væsken som en funksjon av gassvolumandel i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 4 er et skjematisk diagram over et strømningsmålingsapparat i figur 1 som har en matrise med belastningsbaserte sensorer og en matrise med ultralydsensorer for å måle parametere i en multifasestrøm.

Figur 5 er et tverrsnitt av et rør som har en turbulent fluidstrøm eller blanding som strømmer i seg, strømmen har koherente strukturer i seg, nemlig akustiske bølger og virvelforstyrrelser, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 6 er et blokkdiagram over GVF logikken i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 7 er et blokkdiagram over GVF logikken i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 8 er et skjematisk diagram over en hastighet til lyd (SOS) logikk i en matrise-prosessor i et strømningsmåleapparat i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 9 er et kω plott over data prosessert fra et apparat som er en utførelse av foreliggende oppfinnelse som illustrere hellingene til et par av akustiske rygger, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 10 er et plott over blandingslydhastighet som en funksjon av gassvolumetrisk andel over et område av prosesstrykk, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 11 er et skjematisk diagram over en strømningslogikk i en matriseprosessor i et strømningsmåleapparat i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 12 er et kω plott over data prosessert fra et apparat som er en utførelse av foreliggende oppfinnelse som illustrerer hellingen til en konvektiv rygg, og et plott over optimaliseringsfunksjonen til den konvektive ryggen, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 13 er et plott over hastigheten til lyd i væsken som en funksjon av volumandelen av vannet i multifasestrømmen i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 14 er et blokkdiagram over en annen utførelse av et strømningsmåleapparat som har en matrise med belastningsbaserte sensorer og ultralydsensorer for å måle parametere i en multifasestrøm i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 15 er et skjematisk diagram over et strømningsmåleapparat i figur 14 som har en matrise med belastningsbaserte sensorer og en matrise med ultralydsensorer for å måle parametere i en multifasestrøm.

Figur 16 er et skjematisk diagram over et strømningsmåleapparat tilsvarende det som er vist i figur 1, som inkluderer en tetthet og/eller massestrømningsmeter slik som et Coriolis-meter.

Figur 17 er en påklemt multifase (dvs. trefase) strømningsmåleapparat innbefattende strømningsmeter tilsvarende det som er vist i figur 15, som har en matrise med belastningsbaserte sensorer, et påklemt tetthetsmeter slik som et nukleært tetthetsmeter, og i det minste én ultralydsensor som gir en vannandelsmåling, i henhold til foreliggende oppfinnelse.

Figur 18 er et skjematisk diagram over et system for å monitorere og å måle strømningsparametere i en fluidseparator, hvor de tre fasemålingsinnretningene i figur 17 er anordnet på inngangsrøret til separatoren, strømningsmåleinnretningen i figur 16 er anordnet på væskegrenen av separatoren, og den våte gasstrømningsmåleinnretningen er anordnet på gassgrenen til separatoren.

**Detaljert beskrivelse**

Figur 1 beskriver et blokkdiagram over en strømningsmåleinnretning 100 for å måle en parameter i en multifasestrøm 102 som går igjennom et rør 104. Multifasestrømmen eller blandingen 102 inkluderer enhver blanding som har enhver kombinasjon av en gass, væske eller fast fase og, mens foreliggende oppfinnelse er særlig hensiktsmessig i å måle multifasestrømninger, bør det være åpenbart at apparatet 100 også kan måle en parameter i en enkelfasestrøm. Som diskutert her før vil apparater som er utførelser av foreliggende oppfinnelse være hensiktsmessige i målinger av en multifasestrøm som innbefatter olje, vann og gass. Beskrivelsen av foreliggende oppfinnelse vil derfor anta at blandingen er en kombinasjon av olje, vann, og olje, imidlertid, foreliggende oppfinnelse innbefatter at enhver enkel- eller multifasestrøm kan bli målt.

Som vist i figur 1 funksjonerer apparatet 100 som en gassvolumandel (eller tom andel) meter, et ultralydstrømningsmeter og et ultralyd vannandelsmeter. Gassvolumandel (GVF) metere gir en utgang som indikerer gassvolumandelen eller tom andel av blandingen 102 ved å måle hastigheten til lyd som brer seg på lave frekvenser aksielt gjennom strømmen 102 i røret 104. Ultralydstrømningsmetret gir et flertall av høyfrekvente akustiske signaler gjennom rør 102 som gir utgangssignaler som indikerer en trykkforstyrrelse (dvs. virvelforstyrrelser) som brer seg med strømmen 102 forbi ultralydsensorene, som vil bli beskrevet i større detalj nedenfor. Ultralydvannandelsemetret måler hastigheten til lyd som et høyfrekvenssignal som brer seg gjennom strømmen 102 for å gi et utgangssignal som indikerer hastigheten i lyd i væsken, som er indikerende for vannandelen i blandingen 102, hvor vannandelen er faseandelen eller prosentandelen av vannet i strømmen 102.

Det bør være forstått at kombinasjonen av GVF metret, strømningsmeter og vannandelsmeter gir tilstrekkelig informasjon til fullstendig å karakterisere multifasefluidet 102 som strømmer gjennom røret 104. Særlig er apparatet 100 i stand til å måle i det minste strømningshastigheten, den volumetriske strømningsraten, strømningssammensetningen (dvs. faseandel), vannandelen, den volumetriske strømningsraten til en fase i blandingen, gassvolumet (tom) andelen av strømmen, hastigheten i lyd i blandingen, og hastigheten til lyd i væsken. Det bør være forstått at disse målte parameterne er særlig viktige i oljeproduksjonsanvendelser.

Et viktig aspekt ved den foreliggende oppfinnelse involverer at det er forstått at en frekvensavhengighet av hastighet til lyd som brer seg gjennom fluidstrømmen 102

eksisterer for fluider med bobler, hvor bobleresonansen bestemmer transvisjonsfrekvensen. Figur 2 illustrerer frekvensavhengigheten til hastigheten til lyd i fluider med bobler. Som vist, på lavere frekvenser under bobleresonansfrekvensen (tilnærmet 100 Hz til 1000 Hz), vil hastigheten til lyd som brer seg gjennom fluidet 102 være dramatisk påvirket av innblandede gasser. Motsatt vil høyere frekvenser oppover bobleresonansfrekvensen (tilnærmet 1 MHz og større), ikke ha noen signifikant påvirkning på hastigheten av lyd som brer seg gjennom væsken når det er innblandet gass i fluidstrømmen 102. Ved å forstå dette fenomenet har apparatet 100 i en utførelse av foreliggende oppfinnelse anordnet et meter, slik som et GVF meter, for å måle hastigheten til lyd på lave frekvenser under bobleresonansfrekvensen, og et annet meter, slik som et ultralydsvannandelsmeter, for å måle hastigheten til lyd på høye frekvenser over bobleresonansfrekvensen.

Som vil bli beskrevet i større detalj heretter, vil den målte hastigheten til lyd ved lave frekvenser (dvs. sub-resonansfrekvenser) indikere hastigheten til lyd i blandingen 102, mens den målte hastigheten til lyd på de høyere frekvensene (dvs. superresonansfrekvenser) indikere hastigheten til lyd i væsken. Ved å kjenne hastigheten til lyd i blandingen 102 muliggjøres det bestemmelse av gassvolum (og tom) andel av strømmen 102 (eller blandingen). Videre, ved å kjenne hastigheten til lyd i væsken muliggjøres det bestemmelse av vannandelen. Denne prosesseringen vil bli beskrevet i større detalj nedenfor.

Tester ble utført ved å bruke et vertikalt rør fylt med et fluid, hvor bobler ble injisert inn i fluidet i bunnen av røret. Ved å bruke en ultralydsensor og et GVF meter ble hastigheten til lyd på superresonansfrekvenser og sub-resonansfrekvenser, respektivt, målt. Ved referanse til figur 3 illustrerer de oppnådde data fenomenet beskrevet her nedenfor at den målte hastigheten til lyd i væsken (dvs. superresonans SOS) ikke er påvirket av den innblandede gassen, mens den målte hastigheten til lyd i blandingen 102 (dvs. subresonansen SOS) er påvirket av den innblandede gassen. I tillegg viser dataene i figur 3 effektene av hastigheten på lyd i bobleblandinger eller strømninger 102. Særlig vil den målte hastigheten til lyd normalisert av væskehastigheten til lyd bli plottet som en funksjon av referansegassvolumandelen.

Linjen A i figur 3 viser den normaliserte målte superresonanshastigheten til lyden som en funksjon av den prefererte GVF. Som diskutert her og nedenfor vil den målte hastigheten til lyd på høyere frekvenser (superresonans) ikke være påvirket av innblandet gass og indikerer hastigheten til lyden i væsken uansett mengden av innblandet gass.

Linjen B i figur 3 viser den normaliserte måte sub-resonanshastigheten til lyd som en funksjon av den refererte GVF. Som diskutert her og nedenfor vil den målte lydhastigheten på lavere frekvenser (sub-resonans) være påvirket av innblandet gass av en kjent eller bestembar relasjon, som dermed muliggjør bestemmelsen av gassvolumet (eller tom) andel av multifasestrømmen eller blandingen 102.

Linjen C i figur 3 viser den teoretiske normaliserte sub-resonanshastigheten til lyd i blandingen 102 som en funksjon av den refererte GVF i henhold til Woods likning. Som kan bli sett vil den målte sub-resonanshastigheten til lyd være korrelert med den teoretiske bestemmelsen av sub-resonanshastigheten til lyd.

Med referanse til figur 4 er et skjematisk diagram over strømningsmåleapparatet 100 i figur 1 illustrert, hvor strømningsmåleapparatet 100 inkluderer en føleinnretning (sensorhode) 106 montert på et rør 104 og en prosesseringsenhet eller matriseprosessor (sender) 108. I henhold til foreliggende oppfinnelse vil apparatet 100 kunne bestemme hastigheten med hvilken lyden (dvs. akustisk bølge 110 i figur 5) brer seg gjennom fluidstrømmen 102 innenfor røret 104 for å måle særlige karakteristikker i enkelt- eller multifasefluidet. For å forenkle forklaringen av foreliggende oppfinnelse brer strømmen 102 seg gjennom røret 104 som vil bli referert til som en prosesstrøm med den forståelse at fluidet eller prosesstrømmen 102 kan være en enkeltfase- eller multifasestrøm, som beskrevet her og foran.

Føleinnretningen 106 innbefatter en matrise med belastningsbaserte sensorer eller trykksensorer 112-118 for å måle ustabile trykk fremstilt av akustiske trykkforstyrrelser (dvs. akustiske bølger 110) innenfor røret 104 for å bestemme hastigheten til lyd som brer seg gjennom strømmen 102. Føleinnretningen 106 inkluderer videre en matrise med ultralydsensorer 120-126, som hver har en sender 160 og en mottaker 162 som også måler en parameter i strømmen 102. Selv om trykkmålerne 112-118 og ultralydsensorene 120-126 er vist sammenflettet, bør det være å forstå at hver respektive sensormatrise kan være særlig flettet eller ikke-flettet i det hele tatt uten å avvike fra foreliggende oppfinnelse. Det er også å forstå at GVF metret og ultralydstrømningsmetret kan være to distinkte enheter brakt ut tilstøtende til hverandre på røret 104.

Trykksignalene $P_1(t) - P_N(t)$ generert av trykksensorene 112-118 og ultralydsignalene $S_1(t) - S_N(t)$ generert av ultralydsensorene 120-126 er gitt til prosesseringsenheten 108, som digitaliserer signalene og beregner de passende strømningsparametrene. En kabel

kobler elektronisk føleinnretningen 106 til prosesseringsenheten 108. De analoge trykksensorsignalene $P_1(t) - P_N(t)$ er typisk 4-20 mA strømsløyfesignaler.

Matrisen med trykksensorer 112-118 innbefatter en matrise med i det minste to trykksensorer 118, 120 i avstand aksielt langs den ytre overflaten 132 til røret 104, som har en prosesstrøm 102 som brer seg i denne. Trykksensorene 112-118 kan være klemt på eller generelt fjernbart montert på røret 104 med en frigjørbar fester, slik som bolter, skruer og klemmer. Alternativt kan sensorene 112-118 være permanent festet til, eller integrert (dvs. lagt inn), i røret 104. Det bør være forstått at matrisen med sensorer 112-118 i føleinnretningen 106 kan inkludere ethvert antall av trykksensorer 18-21 større enn to sensorer, slik som tre, fire, åtte, seksten eller N antall av sensorer mellom to og tjuefire sensorer. Generelt vil nøyaktigheten til målingen forbedre seg med antallet av sensorer i matrisen som økes, hvor graden av nøyaktighet gitt av det større antallet av sensorer typisk blir avveket med økningen i kompleksitet og tid for å beregne den ønskede utgangsparameteren til strømmen 102. Derfor vil antallet av sensorer brukt være avhengig av i det minste delvis graden av nøyaktighet som er ønsket og den ønskede oppdateringsraten for utgangsparameteren gitt av apparatet 100. Slik sensorene 112-118 måler ustabile trykk fremstilt av akustiske bølger som brer seg gjennom strømmen 102 innenfor røret 104, som indikerer SOS utbredelsen gjennom fluidstrømmen 102 i røret 104. Utgangssignalene $(P_1(t) - P_N(t))$ til trykksensorene 112-118 er gitt til en signalforsterker 104 som forsterker signalene generert av trykksensorene 112-118. Prosesseringsenheten 108 prosesserer trykkmålingsdataene $P_1(t) - P_N(t)$ og bestemmer de ønskede parametrene og karakteristikken til strømmen 102, som beskrevet her og foran.

Apparatet 100 er også å forstå at det innbefatter én eller flere akustiske kilder 136 som muliggjør målingen av hastigheten til lyd som brer seg gjennom strømmen 102, for eksempel i en akustisk rolig strøm. Den akustiske kilden 136 kan være en innretning som banker eller vibrerer på veggen av røret 104, for eksempel. De akustiske kildene 136 kan være lagt ut ved inngangsenden eller utgangsenden av matrisen med sensorer 112-118, eller i begge ender som vist. En bør forstå at i de fleste tilfeller er de akustiske kildene 136 ikke nødvendige, og apparatet 100 kan passivt detektere den akustiske ryggen gitt i strømmen 102, som vil bli beskrevet i større detalj nedenfor. Den passive støyen inkluderer støy generert av pumper, ventiler, motorer og den turbulente blandingen i seg selv.

Generelt måler prosesseringsenheten 108 ustabile trykk skapt av akustiske forstyrrelser som brer seg gjennom strømmen 102 for å bestemme hastigheten til lyd (SOS) som brer seg gjennom strømmen 102. Ved å kjenne trykket og/eller temperaturen til strømmen 102 og hastigheten til lyden i de akustiske forstyrrelsene eller bølgene, som vist i figur 6 og figur 7, kan prosesseringsenheten 108 bestemme den volumetriske strømmen til fluidet, konsistensen eller sammensetningen av fluidet, Mach-tallet til fluidet, gjennomsnittlig størrelse av partikler som strømning gjennom fluidet, luft/masseforholdet til fluidet, og/eller prosentandelen av innblandet luft innenfor blandingen 102, slik som beskrevet i US patentsøknad nr. 10/349.716 (CiDRA dokument nr. CC-0579), innlevert 23. januar 2003, US patentsøknad nr. 10/376.427 (CiDRA dokument nr. CC-0596), innlevert 26. februar 2002, US patentsøknad nr. 10/762.410 (CiDRA dokument nr. CC-0703), innlevert 21. januar 2004, som alle her er referert til.

Som vist i figur 4 har et apparat 100 som er en utførelse av foreliggende oppfinnelse en matrise med i det minste to belastningsbaserte elle trykksensorer 112-114, plassert på to steder $x_1$ , $x_2$ aksielt langs røret 104 for å føle respektive stokastiske signaler som brer seg mellom sensorene 112-114 innenfor røret 104 på deres respektive steder. Hver sensor 112-114 gir et signal som indikerer et ustabilt trykk på stedet for hver sensor, i hvert tilfelle i en serie av samplinginstanser. En bør forstå at sensormatrisen kan inkludere mer enn to trykksensorer som vist med trykksensorene 116, 118 på steder $x_3$, $x_N$. Trykk generert av de akustiske bølgene 110 (se figur 5) kan bli målt gjennom belastningsbaserte sensorer og/eller trykksensorer 112-118. Trykksensorene 112-118 gir analoge trykktidsvarierende signaler $P_1(t),P_2(t),P_3(t),P_N(t)$ til signalprosesseringsenheten 108.

Som vist i figur 8 inkluderer SOS blandingslogikken 138 en dataakkvisisjonsenhet 140 som digitaliserer trykksignalene ($P_1(t) - P_N(t)$ assosiert med de akustiske bølgene 110 som brer seg gjennom røret 104. En FFT logikk 142 beregner Fourier-transformen til de digitaliserte tidsbaserte inngangssignalene $P_1(t) - P_N(t)$ og gir komplekse frekvensdomene (eller frekvensbaserte) signaler $P_1(\omega),P_2(\omega),P_3(\omega),P_N(\omega)$ som indikerer frekvensinnholdet til inngangssignalene.

En dataakkumulator 144 akkumulerer signalene $P_1(t) - P_N(t)$ fra sensorene, og gir dataene som er akkumulert over et samplingsintervall til en matriseprosessor 146, som utfører en rommelig-tidsmessig (todimensjonal) transformasjon av sensordataene, fra xt domenet til k-ω domenet, og beregner så effekten i k-ω planet, som representert av et k-

ω plott, tilsvarende til det som er gitt av den konvektive matriseprosessoren 178 diskutert videre her nede.

For å beregne effekten i k-ω planet, som representert av et k-ω plott (se figur 9) av hvilke som helst av signalene eller de differensierte signalene, bestemmer matriseprosessoren 146 bølgelengden og også (rommelig) bølgetallet k, og så (tidsmessig) frekvensen og så vinkelfrekvensen ω, til forskjellige spektrale komponenter til de stokastiske parametrene. Det er et utall algoritmer tilgjengelig i det offentlige domenet for å utføre den rommelige/tidsmessige dekomponeringen av matrisen av trykksensorer 112-118.

Spesifikt bruker matriseprosessoren 146 standard såkalt stråleforming, matriseprosessering eller adaptiv matriseprosesseringsalgoritme, dvs. algoritmer for å prosessere sensorsignalene ved å bruke forskjellige forsinkelser og vektinger for å opprette passende faserelasjoner mellom signalene gitt fra de forskjellige sensorene, som dermed oppretter faseantennematrisefunksjonalitet. Med andre ord vil stråleformingen eller matriseprosesseringsalgoritmene transformere tidsdomenesignalene fra sensormatrisen til deres rommelige og tidsmessige frekvenskomponenter, dvs. til et sett av bølgetall gitt av $k=2\pi/\lambda$, hvor $\lambda$ er bølgelengden til en spektralkomponent, og tilsvarende vinkelfrekvenser gitt av $\omega=2\pi\nu$.

En slik teknikk for å bestemme hastigheten til lyd som brer seg gjennom strømmen 102 involverer å bruke matriseprosesseringsteknikker for å definere en akustisk rygg i k-ω planet som vist i figur 9. Hellingen til den akustiske ryggen indikerer hastigheten til lyd som brer seg gjennom strømmen 102. Hastigheten til lyd (SOS) er bestemt ved å anvende sonar matriseprosesseringsteknikker for å bestemme hastigheten med hvilket den endimensjonale akustiske bølgen 110 brer seg forbi den aksielle matrisen av ustabile trykkmålinger distribuert langs røret 104.

Apparatet 100 i henhold til foreliggende oppfinnelse måler hastigheten til lyd (SOS) fra endimensjonale lydbølger 110 (se figur 5) som brer seg gjennom blandingen 102 for å bestemme gassvolumdelen i blandingen 102. Det er kjent at lyd brer seg gjennom forskjellige medier på forskjellige hastigheter i slike felt som sonar- og radarfelt. Hastigheten til lyd som brer seg gjennom røret 104 og strømmen 102 kan bli bestemt ved å bruke et antall av kjente teknikker, slik som de fremsatt i US patentsøknad nr. 09/344.094, levert 25. juni 1999, nå US 6.354.147, US patentsøknad nr. 10/795.111, innlevert 4. mars 2004, US patentsøknad nr. 09/997.221, innlevert 28. november 2001,

nå US 6.587.798, US patentsøknad nr. 10/007.749, innlevert 7. november 2001, og US patentsøknad nr. 10/762.410, innlevert 21. januar 2004, som her er referert til ved referanse.

I tilfellet av passende akustiske bølger 110 som er tilstede i begge aksielle retninger, vil effekten i k-ω planet som vist i et k-ω plott i figur 9 som er slik bestemt, utvise en struktur som er kalt en akustisk rygg 150, 152 i både venstre og høyre plan i plottet, hvor én av de akustiske ryggene 150 indikerer hastigheten til lyd som beveger seg i én aksiell retning og den andre akustiske ryggen 152 indikerer hastigheten til lyd som beveger seg i den andre aksielle retningen.

De akustiske ryggene 150, 152 representerer konsentrasjonen av en stokastisk parameter som brer seg gjennom strømmen 102 og som er en matematisk manifestasjon av relasjonen mellom de rommelige variasjonene og tidsmessige variasjoner beskrevet ovenfor. Et slikt plott vil indikere en tendens for k-ω par og opptre mer eller mindre langs en linje 150, 152 med noe helling, der hellingen indikerer hastigheten til lyd. Effekten i k-ω planet som er bestemt slik blir så gitt til en akustisk ryggidentifikator 154, som bruker en eller annen egenskapsuttrekkingsfremgangsmåte for å bestemme lokaliseringen og orienteringen (helling) av enhver akustisk rygg 150, 152 som er tilstede i venstre og høyre k-ω plan. En analyserer 156 bestemmer hastigheten til lyden i blandingen 102 ved å bruke hellingen til én av de to akustiske ryggene 150, 152, eller som gjennomsnitt av hellingene i de akustiske ryggene 150, 152.

Som vist i figur 1 og figur 4 gir GVF logikken 158 utgangssignaler som indikerer gassvolum eller tom andel av blandingen 102 som reaksjon på den målte hastigheten til lyd i blandingen 102. For eksempel, for å bestemme gassvolumandelen (eller faseandel), antar GVF logikken 158 en nærmest isotermisk tilstand for strømmen 102. Slik sett vil gassvolumandelen eller den tomme andelen være relatert til hastigheten av lyd gjennom følgende kvadratiske likning:

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

hvor x er hastigheten til lyd, $A=1+rg/rl*(K_{eff}/P-1)-K_{eff}/P$, $B=K_{eff}/P-2+rg/rl$, $C=1-K_{eff}/rl*a_{meas}\text{^}2)$, Rg = gasstetthet, rl = væsketetthet, $K_{eff}$ = effektiv K (modulus av væske og rørvegg), P= trykk, og $a_{meas}$ = malt hastighet av lyd.

Effektivt,

$$(GVF) = (-B+sqrt(B^2-4*A*C))/(2*A)$$

Alternativt vil hastigheten til lyden I en blanding kunne være relatert til volumetrisk faseandel ($\phi_i$) til komponentene og lydhastigheten (a) og tetthetene ($\rho$) til komponenten gjennom Woods likning.

$$\frac{1}{\rho_{mix} a^2_{mix_\infty}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\phi_i}{\rho_i a_i^2} \qquad \text{hvor } \rho_{mix} = \sum_{i=1}^{N} \rho_i \phi_i$$

Endimensjonale kompresjonsbølger brer seg innenfor en blanding 102 inneholdt i et rør 104 som utviser en ustabil intern trykkbelastning på røret 104. Graden som røret 104 forskyver seg som et resultat av den ustabile trykkbelastningen påvirker hastigheten til utbredelsen av kompresjonsbølgen. Relasjonen blant den endelige domenehastigheten til lyd og tettheten til en blanding, den elastiske modulus (E), tykkelsen (t) og radius (R) til en vakuumtettet sylindrisk leder, og den effektive utbredelseshastigheten ($a_{eff}$) for endimensjonal kompresjon er gitt av følgende uttrykk:

$$a_{eff} = \frac{1}{\sqrt{1/a^2_{mix_\infty} + \rho_{mix} \frac{2R}{Et}}} \qquad \text{(Likning 1)}$$

Blandingsregelen uttaler vesentlig at komprimerbarheten til en blanding ($1/(\rho\, a^2)$) er det volumetriske veide gjennomsnittet av sammentrykkbarhet til komponentene. For gass/-væskeblandinger 102 ved trykk og temperaturer som er typisk for papir og masseindustri vil komprimerbarheten til gassfasen være i størrelsesorden mye større enn den til væsken. Dermed vil komprimerbarheten til gassfasen og tettheten til væskefasen primært bestemme blandingens lydhastighet, og slik sett er det nødvendig å ha et godt estimat over prosesstrykk for å tolke blandingens lydhastighet uttrykt i volumetrisk andel av innblandet gass. Effekten av prosesstrykk på relasjonen mellom lydhastighet og innblandet luftvolumandel er vist i figur 10.

Noe eller alle funksjonene innenfor prosesseringsenheten 108 kan bli implementert i programvare (ved å bruke en mikroprosessor eller datamaskin) og/eller firmware, eller kan være implementert ve då bruke analog og/eller digital hardware, som har tilstrekkelig hukommelse, grensesnitt og kapasitet for å utføre funksjonene beskrevet her.

Som vist i figur 4 inkluderer måleapparater 100 en føleinnretning 106 innbefattende en matrise med ultralydsensorenheter 120-126. Hver sensorenhet 120-126 innbefatter et par av ultralydsensorer 160, 162, én av disse virker som en sender (Tx) 160 og den andre som en mottaker (Rx) 162. Sensorenheten 120-126 er plassert i avstand aksielt langs den ytre overflaten 132 til røret 104 som har en prosesstrøm 102 som brer seg i den. Paret av sensorer 160, 162 er diametralt lagt ut på røret 104 på forhåndsbestemte steder langs røret 104 for å gi en gjennomstrømningstransmisjonskonfigurasjon, slik at sensorene sender og tar imot et ultralydsignal som brer seg gjennom fluidet vesentlig ortogonalt på retningen til strømmen av fluidet innenfor røret 104. Ultralydmåledelen av foreliggende oppfinnelse er tilsvarende den som er vist i US provisorisk patentsøknad nr. 10/756.977 (advokatdokument nr. CC-0700), innlevert 13. januar 2004, som her er referert til.

Som vist i figur 1 vil hvert par av ultralydsensorer 160, 162 måle en transittid (dvs. tidsflukt (TOF), eller fasemodulasjon) til et ultralydsignal som brer seg gjennom fluidet 102 fra sendersensoren 160 til mottakersensoren 162. Transittidmålingen eller variasjon er indikerende av koherente egenskaper som har konveksjon med strømmen innenfor røret 104 (dvs. virvelforstyrrelser, inhomogeniteter innenfor strømmen, temperaturvariasjoner, bobler, partikler, trykkforstyrrelser), som indikerer hastigheten til prosesstrømmen 102. Ultralydsensorene 160, 162 kan operere på enhver frekvens, imidlertid er det blitt funnet at høyere frekvenssensorer er mer passende for enkeltfasefluider mens lavere frekvenssensorer er mer passende for multifasefluider. Den optimale frekvensen til ultralydsensorene 160, 162 er avhengig av størrelsen eller typen av partikkel eller substans som brer seg innenfor strømmen 102. For eksempel, jo større luftboblene i en luftet fluid er, desto lavere er den ønskelige frekvensen til ultralydsignalet. Eksempler på frekvens som er brukt for en strømningsmeterutførelse av foreliggende oppfinnelse er 1 MHz og 5 MHz. Ultralydsensorene 160, 162 kan også gi et pulset, kvitret eller kontinuerlig signal gjennom fluidstrømmen 102. Et eksempel på sensorene 160, 162 som kan bli brukt er modell nr. 113-141-591, fremstilt av Krautkramer.

En ultralydsignalprosessor 164 avfyrer sensorene 160, 162 som reaksjon på et avfyringssignal fra senderen 108 og mottar ultralydsignalene $S_1(t) - S_N(t)$ fra sensorene 160, 162. Signalprosessoren 164 prosesserer dataene fra hver av sensorenhetene 120-126 og gir et analogt eller digitalt utgangssignal $T_1(t) - T_N(t)$ som indikerer tidsflukten eller transittiden til ultralydsignalet gjennom fluidet. Signalprosessoren 164 kan også gi et utgangssignal som indikerer amplituden (eller dempningen) av ultralydsignalene. En

slik signalprosessor er modell nr. USPC 2100 fremstilt av Krautkramer ultralydsystemet. Måling av amplituden til ultralydsignaler er særlig hensiktsmessig og virker best for måling av hastigheten i et fluid som inkluderer en substans i strømmen (dvs. multifasefluid eller slam).

Utgangssignalene ($T_1(t)- T_N(t)$) til ultralydsignalprosessoren 164 er gitt til prosessoren 108, som prosesserer transittiden eller modulasjonsmålingsdataene for å bestemme den volumetriske strømningsraten. Transittiden eller tidsfluktmålingen er definert av tiden som det tar for et ultralydsignal og brer seg fra sendingssensoren 160 til den respektive mottakersensor 162 gjennom rørveggen og fluidet 102. Effekten av virvelforstyrrelser (og/eller andre inhomogeniteter innenfor fluidet) på transittiden til ultralydsignalet er å forsinke eller å øke hastigheten til transittiden. Derfor vil hver føleenhet 120-126 gi et respektivt utgangssignal $T_1(t)- T_N(t)$ som indikerer variasjonene i transittiden til ultralydsignalene som brer seg ortogonalt på retningen til fluidet 102. Målingen blir utledet ved å tolke de konvekterende koherente egenskapene og/eller karakteristikkene innenfor prosessrøret ved å bruke i det minste to sensorenheter 120, 122. Ultralydsensorene 120-126 kan være "fuktet" eller klemt på den ytre overflaten 132 av røret 104 (dvs. kontakt eller ikke-kontaktsensor).

I ett eksempel måler strømningsmetret 100 den volumetriske strømningsraten ved å bestemme hastigheten til virvelforstyrrelser eller "evjer" 168 (se figur 5) som brer seg med strømmen 102 ved å bruke matrisen med ultralydsensorer 120-126. Strømningsmetret 100 måler hastighetene assosiert med ustabile strømningsfelt skapt av virvelforstyrrelser eller "evjer" 168 og andre inhomogeniteter for å bestemme hastigheten til strømmen 102. Ultralydsensorenhetene 120-126 måler sendertiden $T_1(t)- T_N(t)$ til de respektive ultralydsignalene mellom hvert respektive par av sensorer 160, 162, som kan variere på grunn av virvelforstyrrelser siden disse forstyrrelsene har konveksjon med strømmen 102 gjennom røret 104 på en kjent måte. Derfor vil hastigheten til disse virvelforstyrrelsene være relatert til hastigheten av strømmen 102, og dermed kan den volumetriske strømningsraten bli bestemt, som vil bli beskrevet i større detalj heretter. Den volumetriske strømmen er bestemt ved å multiplisere hastigheten til fluidet med tverrsnittsarealet til røret 104.

Strømningslogikken 170 til prosesseringsenheten 108 prosesserer ultralydsignalene som vist i figur 11, hvor strømningslogikken 170 mottar ultralydsignalene fra matrisen med sensorer 120-126. En dataakkvisisjonsenhet 172 (dvs. A/D konverterer) konverterer de analoge signalene til respektive digitale signaler, og de digitaliserte signalene blir gitt til

hurtig Fourier transform (FFT) logikk 174. FFT logikken 174 beregner Fourier transformen til de digitaliserte 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 til inngangssignalene. Det bør være forstått at istedenfor FFT'er kan enhver annen teknikk for å oppnå frekvensdomenekarakteristikkene til signalene $T_1(t)$– $T_N(t)$, bli brukt. For eksempel, tverrsnittspektraltetthet og effektspektraltetthet kan bli brukt for å forme en frekvensdomene overføringsfunksjon (eller frekvensrespons eller forhold) diskutert heretter.

En teknikk for å bestemme konveksjonshastigheten til turbulente evjer 168 innenfor prosesstrømmen 102 (se figur 5) er ved å karakterisere en konvektiv rygg i det resulterende ustabile trykket ved å bruke en matrise med sensorer eller andre stråleformingsteknikker, tilsvarende de som er beskrevet i US patentsøknad, serienr. (Cidra's dokument nr. CC-0122A) og US patentsøknad, serienr. 09/729.994 (Cidra's dokument nr. CC-0297), innlevert 4. desember 2000, nå US 6.609.069, som her er referert til.

En dataakkumulator 176 akkumulerer frekvenssignalene $T_1(\omega)$ - $T_N(\omega)$ over et samplingsintervall, og gir dataene til en matriseprosessor 170, som utfører en rommelig-tidsmessig (todimensjonal) transformasjon av sensordataene, fra xt domenet til k-ω domenet, og beregner så effekten i k-ω planet, som representert av et k-ω plott.

Matriseprosessoren 178 bruker standard såkalt stråleforming, matriseprosessering, eller adaptiv matriseprosesseringsalgoritmer, dvs. algoritmer for å prosessere sensorsignalene ved å bruke forskjellige forsinkelser og vekting for å opprette passende faserelasjoner mellom signalene gitt av de forskjellige sensorene, som dermed skaper en faserettet antennematrisefunksjonalitet. Med andre ord, stråleforming eller matriseprosesseringsalgoritmer transformerer tidsdomenesignalene fra sensormatrisen til deres rommelige og tidsmessige frekvenskomponenter, dvs. til et sett med bølgetall gitt av $k=2\pi/\lambda$ hvor $\lambda$ er bølgelengden til en spektralkomponent, og tilsvarende vinkelfrekvenser er gitt av $\omega=2\pi\nu$.

Kjent teknikk har mange algoritmer for bruk i rommelig og tidsmessig dekomponering av et signal fra en faserettet matrise med sensorer, og foreliggende oppfinnelse er ikke begrenset til noen bestemt algoritme. En særlig adaptiv matriseprosesseringsalgoritme er Capon fremgangsmåten/algoritmen. Mens Capon fremgangsmåten er beskrevet som én fremgangsmåte, innbefatter foreliggende oppfinnelse bruken av andre adaptive matriseprosesseringsalgoritmer, slik som MUSIC algoritmen. I henhold til foreliggende

oppfinnelse kan slike teknikker bli brukt for å bestemme strømningsrate, dvs. at signalene forårsaket av en stokastisk parameter som har konveksjon med en strøm er tidsstasjonær og har en koherenslengde lang nok, slik at det er praktisk å plassere sensorenheter fra hverandre og fremdeles være innenfor koherenslengden.

Konvektive karakteristikker eller parametere har en dispersjonsrelasjon som kan bli tilnærmet ved den rette linjelikningen,

$$k=\omega/u,$$

hvor u er konveksjonshastigheten (strømningshastighet). Et plott med k-ω par oppnådd fra en spektralanalyse av sensorsamples assosiert med konvektive parametere fremstilt slik at energien til forstyrrelsen spektralt samsvarer med parene som kan bli beskrevet som en vesentlig rett rygg, en rygg som i turbulent grenselagteori er kalt en konvektiv rygg. Det som blir følt er ikke diskrete hendelser med turbulente evjer 168, men heller et kontinuum med mulige overlappende hendelser som danner en tidsmessig stasjonær, vesentlig hvit prosess over frekvensområdet av interesse. Med andre ord, de konvektive evjene 168 er distribuert over en rekkevidde av lengdeskalaer og dermed tidsmessige frekvenser.

For å beregne effekten i k-ω planet, som representert av et k-ω plott (se figur 12) av enten det ene eller andre signalet, bestemmer matriseprosessoren 178 bølgelengden og så (rommelige) bølgetall k, og også (tidsmessig) frekvensen og så vinkelfrekvensen ω, til forskjellige av de spektrale komponentene til den stokastiske parameteren. Det er utallige algoritmer tilgjengelig i det offentlige domenet for å utføre den rommelige/tidsmessige dekomponeringen av matriser med sensorenheter 120-126.

Foreliggende oppfinnelse kan bruke tidsmessig og rommelig filtrering for å forhåndsbetinge signalene for effektivt å filtrere ut den felles moduskarakteristikken $P_{comon\ mode}$ og annen lang bølgelengde (sammenliknet med sensoravstanden) karakteristikkene i rør 104 ved å differensiere tilstøtende sensorer og beholde en vesentlig del av den stokastiske parameteren assosiert med strømningsfeltet og enhver annen kortbølgelengde (sammenliknet med sensoravstanden) lavfrekvent stokastisk parameter.

I tilfelle av passende turbulente evjer 168 (se figur 5) som er tilstede, vil effekten i k-ω planet vist i et k-ω plott i figur 12 vise en konvektiv rygg 180. Den konvektive ryggen 180 representerer konsentrasjonen av en stokastisk parameter som har konveksjon med

strømmen 102 og er en matematisk manifestasjon av relasjonen mellom rommelige variasjoner og tidsmessige variasjoner beskrevet ovenfor. Et slikt plott vil indikere en tendens for k-ω par og opptre mer eller mindre langs en linje 180 med samme helling, hellingen indikerer strømningshastigheten.

Med en gang effekten i k-ω planet er bestemt vil en konvektiv ryggidentifiserer 182 bruke en eller annen egenskapsuttrekkingsfremgangsmåte for å bestemme plasseringen og orienteringen (helling) av enhver konvektiv rygg 180 tilstede i k-ω planet. I en utførelse vil en såkalt hellende stablefremgangsmåte bli brukt, en fremgangsmåte hvor den akkumulerte frekvensen til k-ω par i k-ω plottet langs forskjellige stråler som stammer fra origo bli sammenliknet, hver forskjellige stråle blir assosiert med en forskjellig forsøkskonveksjonshastighet (ved at hellingen til en stråle er antatt å være strømhastigheten eller korrelert til strømhastigheten på en kjent måte). Den konvektive ryggidentifisereren 182 gir informasjon om de forskjellige forsøkskonveksjonshastighetene, informasjon referert generelt til som konvektiv rygginformasjon.

Analysereren 184 undersøker den konvektive rygginformasjonen inkludert den konvektive ryggorienteringen (helling). Ved å anta den rette linjedispersjonsrelasjonen gitt av k=ω/u bestemmer analysereren 184 strømningshastigheten, Mach nummer og/eller volumetrisk strømning. Den volumetriske strømningen blir bestemt ved å multiplisere tverrsnittsarealet til innsiden av røret 104 med hastigheten til prosesstrømmen 102.

Vannandelen av prosesstrømmen 102 blir bestemt ved å bruke utgangen fra i det minste én av sensorene 120-126 til ultralydstrømningsmetret. Mens en ultralydsensor 120 i ultralydmetret blir brukt til å bestemme vannandelen i strømmen 102 er å forstå at separate ultralydsensorer kan bli brukt for å bestemme vannandel. En separat ultralydsensor for å måle vannandel vil tillate sensoren å sende et ultralydsignal på forskjellige frekvenser for å sikre at ultralydsensoren for vannandelen virker på en frekvens som er større enn bobleresonansfrekvensen.

SOS væskelogikken 186 konverterer den målte transittiden til ultralydsignalet til et signal som indikerer hastigheten til lyd i væsken. Frekvensen på ultralydsignalet som brer seg gjennom fluidet er større enn bobleresonansfrekvensen slik at den innblandede gassen ikke påvirker ultralydsignalet. Ved å kjenne SOS til væskedelen av fluidstrømmen 102 vil faseandelen til vannet kunne bli bestemt. Faseandelen av vannet er en funksjon av SOS til væsken, SOS til oljen, SOS av vannet, tettheten til oljen, tettheten til vannet. Ved å kjenne SOS og tettheten til olje og vann vil relasjonen mellom fase-

andelene (dvs. vannandel) til strømmen 102 og SOS til væsken være kjent. Som vist i figur 13 er denne relasjonen illustrert i plottet over SAS i væsken kontra vannandel, og derfor, ved å kjenne SOS til væsken vil vannandelen kunne bli bestemt.

Mens det sonarbaserte strømningsmetret bruker en matrise med sensorer for å måle hastigheten til lyden i en akustisk bølge som brer seg gjennom blandingen 102 som vist og beskrevet, vil man kunne forstå at enhver innretning for å måle hastigheten av lyd til den akustiske bølgen kan bli brukt til å bestemme innblandet gassvolumandel av blandingen/fluid eller andre karakteristika til strømmen 102 beskrevet her foran.

Mens dataakkvisisjonsenhetene 140, 172, FFT logikk 142, 174, dataakkumulatorer 144, 176, matriseprosessorer 146, 178 og ryggidentifiserere 154, 182 er vist som separate elementer eller separate programvare/prosesseringsrutiner, vil man forstå at hver av disse elementene kan være felles og være i stand til å prosessere dataene assosiert med både trykksignalene assosiert med hastigheten til lyden og trykket som har konveksjon med prosesstrømmen.

Mens hver av ultralydsensorenhetene 120-126 i figur 1 innbefatter et par av ultralydsensorer (sender og mottaker) 160, 162 diametralt motsatt for å gi gjennomførings-transmisjon, innbefatter foreliggende oppfinnelse at en av ultralydsensorene 160, 162 i hver sensorenhet 120-126 kan være avvikende aksielt, slik at ultralydsignalet fra sendersensoren 160 har en aksiell komponent i sin utbredelsesretning.

Foreliggende oppfinnelse innbefatter også at sensorenhetene 120-126 i føleinnretningen 106 kan være konfigurert i en puls/ekkokonfigurasjon. I denne utførelsen vil hver føleenhet 120-126 innbefatte én ultralydsensor som sender et ultralydsignal gjennom rørveggen og fluid vesentlig ortogonalt på retningen til strømmen og mottar en refleksjon fra ultralydsignalet reflektert tilbake fra veggen av røret til ultralydsensoren.

Føleinnretningen 106 kan være konfigurert til å fungere i en kast- og fangkonfigurasjon. I denne utførelsen vil hver sensorenhet 120-126 innbefatte et par av ultralydsensorer (sender/mottaker) 160, 162 lagt ut langs røret 104 lagt ut på samme side av røret 104 på forhåndsbestemte avstander fra hverandre. Hver sendersensor 160 gir et ultralydsignal på en forhåndsbestemt vinkel inn i strømmen 102. Ultralydsignalet brer seg gjennom fluidet 102 og reflekteres fra den indre overflaten av røret 104 og reflekterer ultralydsignalet tilbake gjennom fluidet til den respektive mottakersensor 162.

Som vist i figur 1, mens ultralydsensordelen av strømningsmålingsinnretningen 100 innbefatter en matrise med ultralydsensorenheter 120-126 (se figur 5), innbefatter foreliggende oppfinnelse også at ethvert ultralydmeter eller føledel kan bli brukt. Ultralydmetret kan være ethvert meter innenfor enhver av de tre klasser av strømningsmetere som bruker ultralydtransdusere, som inkluderer sendertidsultralydstrømningsmetere (TTUF), doppler ultralydstrømningsmetere (DUF) og krysskorrelasjons ultralydstrømningsmetere (CCUF).

Ultralydsenderdelen kan være ethvert kjent ultralydstrømningsmeter, slik som US patent nr. 2.874.568, US patent nr. 4.004.461, US patent nr. 6.532.827, US patent nr. 4.195.517, US patent nr. 5.856.662 og US patent nr. 6.397.683 som her er referert til.

Det bør være forstått at det matrisebaserte strømningsmetret 100 er tilsvarende det som er beskrevet i US patentsøknad 10/007.749, innlevert 7. november 2001 (advokatdokument nr. CC-0066B), US patentsøknad, serienr. 10/007.736, innlevert 8. november 2001 (advokatdokument nr. CC-0295), US foreløpig patentsøknad, serienr. 60/359.785, innlevert 26. februar 2002 (advokatdokument nr. CC-0403), US foreløpig patentsøknad, serienr. 60/425.436, innlevert 12. november 2002 (advokatdokument nr. CC-0538), US patentsøknad, serienr. 09/729.994, innlevert 4. desember 2000 (advokatdokument nr. 297) og US patentsøknad, serie nr. 10.875.857 (advokatdokument nr. CC-0749), innlevert 24. juni 2004, som alle her er referert til.

Mens en enkelt matriseprosessor 108 er vist i å ta imot og å prosessere inngangssignaler fra trykksensorene 112-118 og ultralydsensorene 120-126, innbefatter foreliggende oppfinnelse at en matriseprosessor kan være dedikert til hver av matrisen av trykksensorer 112-118 og matrisen med ultralydsensorer 120-126.

Figur 14 illustrerer et blokkdiagram av et strømningsmåleapparat 200 tilsvarende apparat 100 i figur 1 som inkluderer en føleinnretning (sensorhode) 106 montert på et rør 104 og en prosesseringsenhet eller matriseprosessor (sender) 108, hvor apparatet 100 funksjonerer som et GVF meter, et strømningsmeter og et vannandelsmeter. I denne utførelsen vil sensorhodet 106 for GVF metret funksjonere som sensorhode 106 for både GVF metret og strømningsmetret i figur 1. Det bør være forstått at prosesseringen av alle dataene er tilsvarende det som beskrevet her foran, og like referansetall er de samme elementene og funksjonene for det samme som beskrevet her foran.

Med referanse til figur 15 inkluderer sensorhodet 106 en matrise med belastningsbaserte eller trykksensorer 112-118. Signalene gitt av trykksensorene 112-118 blir prosessert for å bestemme gassvolumet (eller tom) andel av strømmen 102, hastigheten til strømmen 102, den volumetriske strømningsraten og hastigheten til lyd i blandingen (dvs. strøm) 102. Kombinasjonen GVF/strømningsmetret, i henhold til foreliggende oppfinnelse, kan bestemme hastigheten med hvilken lyden (dvs. akustisk bølge 110 i figur 5) brer seg gjennom fluidstrømmen 102 innenfor et rør 104 for å måle hastigheten til lyd i blandingen 102 og gasstomhet (eller volum) andel av strømmen 102. GVF/strømningsmetret bestemmer også hastigheten med hvilken trykkforstyrrelser (dvs. virvelforstyrrelser) brer seg gjennom røret 104 for å bestemme hastigheten til fluidstrømmen 102. Trykkforstyrrelsene kan være i form av virvelforstyrrelser 168 (dvs. turbulente evjer 168 i figur 5) eller andre trykkforstyrrelser som har konveksjon (eller brer seg) med strømmen 102.

Som foreslått og videre beskrevet i større detalj nedenfor har apparatet 100, 200 muligheten til å måle hastigheten til lyden (SOS) og strømningsraten (eller hastigheten) ved å bruke en eller begge av følgende teknikker ved å bruke den samme matrisen med trykksensorer beskrevet her nedenfor:

1) å bestemme hastigheten til lyd med akustiske forstyrrelser eller lydbølger som brer seg gjennom strømmen 102 ved å bruke matrisen med trykksensorer 112-118, og/eller
2) å bestemme hastigheten til trykkforstyrrelser (dvs. virvelevjer 168) som brer seg gjennom strømmen 102 ved å bruke matrisen med trykksensorer 112-118.

Disse teknikkene er tilsvarende det som ble lært bort og beskrevet her foran med referanse til figur 8 og figur 11, respektivt. Også er prosesseringen relatert til vannandelsmetret som er tilsvarende det som er beskrevet her foran.

En fagmann vil forstå at vannandelsmetret også kan bli brukt som et alenestående meter som muliggjør at en bruker kan måle vannandelen i en multifasefluidstrøm som har innblandet luft.

Trykksensorene 112-118 og ultralydsensorene 120-126 vist i apparatet 100-200 i figur 4 og figur 15, respektivt, kan være klemt på ikke-fuktede sensorer. Disse påklemte sensorene tillater at apparatet 100, 200 blir tilpasset etterpå på røret uten å måtte la systemet bli skrudd av. apparatet 100, 200 vil heller ikke interferere med fluidstrømmen og

skaper ikke noe tilbaketrykk i fluidstrømmen. En annen fordel med den ikke-fuktede, påklemte sensoren er at korrosjon eller skalering ikke interfererer med sensorene.

I en utførelse som vist i figur 4 og figur 15 vil hver av trykksensorene 112-118 kunne inkludere en piezoelektrisk film festet til en unitær multibåndstropp for å måle ustabile trykk i strømmen 102 ved å bruke en av teknikkene beskrevet her foran. De piezoelektriske filmsensorene 112-118 kan bli montert på et unitært substrat eller nett som er montert eller festet på den ytre overflaten 132 til røret 104, som vil bli beskrevet i større detalj nedenfor.

De piezoelektriske filmsensorene 112-118 inkluderer et piezoelektrisk materiale eller film 188 som genererer et elektrisk signal med graden som materialet mekanisk blir deformert eller belastet. Det piezoelektriske føleelement 188 er typisk tilpasset til å tillate fullstendig eller tilnærmet fullstendig omkretsmåling av indusert belastning for å gi et omkretsgjennomsnittssignal. Sensorene kan være formet fra PVDF filmer, kopolymer filmer, eller fleksible PZT sensorer, tilsvarende det som er beskrevet i "piezofilmsensorteknisk manual" gitt av Meaurement Specialties, Inc., som her er referert til. En piezoelektrisk filmsensor som kan bli brukt i henhold til foreliggende oppfinnelse er del nr. 1-1002405-0, LDT4-028K, fremstilt av Measurement Specialties, Inc. Mens det piezoelektriske filmmaterialet er anordnet vesentlig i lengden av båndet, og derfor omkretsen av røret 104, innbefatter foreliggende oppfinnelse at det piezoelektriske filmmaterialet kan være lagt ut langs en del av båndet i enhver lengde mindre enn omkretsen av røret 104.

Piezoelektrisk film ("piezofilm"), som piezoelektrisk materiale, er et dynamisk materiale som utvikler en elektrisk ladning proporsjonalt med en forandring i mekanisk belastning. Følgelig vil det piezoelektriske materialet måle belastningen indusert innenfor røret 194 på grunn av ustadige eller stokastiske trykkvariasjoner (dvs. virvel og/eller akustiske) innenfor prosesstrømmen 102. Belastningen innenfor røret 104 blir omsatt til en utgangsspenning eller strøm av den festede piezoelektriske sensor 112-118. Det piezoelektriske materialet eller film kan bli formet av et polymer, slik som polarisert fluorpolymer, polyvinyliden fluorid (PVDF). De piezoelektriske filmsensorene er tilsvarende de som er beskrevet i US patentsøknad, serienr. 10/712.818 (CiDRA dokument nr. CC-0675), innlevert 12. november 2003 og US patentsøknad, serienr. 10/795.111 (CiDRA dokument nr. CC-0731), innlevert 4. mars 2004, som her er referert til. Fordelen ved denne påklemmingsteknikken ved å bruke piezoelektrisk film inkluderer ikke-inngripende strømratemålinger, lav kostnad og måleteknikker som krever

ingen eksitasjonskilde. Det bør være forstått at sensoren kan være installert eller montert på røret 104 som individuelle sensorer, eller alle sensorene er montert i en enkelt enhet som vist i figur 4 og figur 15.

Trykksensorene 112-118 i figur 4, beskrevet her, kan være enhver type av sensor som er i stand til å måle det ustadige (eller vekslende eller dynamiske) trykk eller parameter som har konveksjon med strømmen i et rør 104, slik som piezoelektriske, optiske, kapasitive, resistive (dvs. Wheatstone bro), akselerometre (eller geofoner), hastighets-måleinnretninger, forsyningsmåleinnretninger, ultralydinnretninger etc. Dersom optiske trykksensorer er brukt kan sensorene 112-118 være de Bragg gitterbaserte trykksensorer, slik som den som er beskrevet i US patentsøknad, serie nr. 08/925.598, med tittelen "High Sensitivity Fiber Optic Pressure Sensor For Use In Harsch Environments", levert 8. september 1997, nå US patent 6.016.702, og i US patentsøknad, serienr. 10/224.821, med tittelen "Non-Intrusive Fiber Optic Pressure Sensor for Measuring Unsteady Pressuers within a Pipe", som her er referert til ved referanse. I en utførelse av følgende oppfinnelse som bruker fiberoptikk som trykksensorer 112-118 kan disse være koplet individuelt, eller de kan være multiplekset langs en eller flere optiske fibere ved å bruke bølgelengdedelt multipleksing (WDM), tidsdelt multipleksing (TDM), eller enhver annen optisk multipleksingsteknikk.

I visse utførelser av foreliggende oppfinnelse kan en piezoelektronisk trykktransduser bli brukt som en eller flere av trykksensorene 112-118, og den kan måle de ustabile (eller dynamiske eller vekslende) trykkvariasjonene på innsiden av røret 104 ved å måle trykknivåene på innsiden av røret 104. Disse sensorene kan være lagt inn innenfor røret for å ha direkte kontakt med prosesstrømmen 102. I en utførelse av foreliggende oppfinnelse vil sensorene innbefatte trykksensorer fremstilt av PCB Piezotronics. I en trykksensor er det integrerte piezoelektriske spenningsmodetype sensorelektronikk som har innebygde mikroelektronikkforsterkere og som konverterer høyimpedansladning til lavimpedans spenningsutgang. Spesifikt er en modell 106B fremstilt av PCT Piezotronics brukt, som er svært sensitiv, akselerasjonskompensert integrert piezoelektrisk kvartstrykksensorkrets passende for å måle lavtrykkakustiske fenomener i hydrauliske og pneumatiske systemer.

Det er også innenfor rekkevidden av foreliggende oppfinnelse at enhver belastningsfølende teknikk kan bli brukt til å måle variasjonene i belastning i røret 104, slik som svært sensitive piezoelektriske, elektroniske eller elektriske belastningsmålere og piezoresistive belastningsmålere festet til røret 104. Andre belastningsmålere inkluderer

resistiv folietypemålere som har en veddeløpsbanekonfigurasjon tilsvarende den som er fremlagt i US patentsøknad, serienr. 09/344.094, innlevert 25. juni 1999, nå US 6.354.147, som her er referert til. Foreliggende oppfinnelse innbefatter også belastningsmålere som er lagt ut over en forhåndsbestemt del av omkretsen av røret 104. Den aksielle plasseringen og separasjonsavstanden $\Delta X_1$, $\Delta X_2$ mellom belastningssensorer er bestemt som beskrevet her ovenfor.

Det er også innenfor rekkevidden av foreliggende oppfinnelse at enhver annen belastningsfølende teknikk kan bli brukt for å måle variasjonene i belastning i røret 104, slik som svært sensitive piezoelektriske, elektroniske eller elektriske belastningsmålere festet til eller lagt inn i røret 104.

Mens beskrivelsen har beskrevet apparatet som et enkelt meter som måler GVF, strømning og vannandel, vil hver funksjon kunne være separert i individuelle metere for å måle GVF, strømning og vannandel.

Med referanse til figur 16 er beskrivelsen og funksjonen til gassvolumandelsmetere, ultralydstrømningsmetere og ultralydvannandelsmetere i strømningsapparatet 300 tilsvarende det som er beskrevet her foran. Strømningsapparatet inkluderer en tetthet og/eller massestrømningsmeter 302, slik som et Coriolis-meter, som gir målinger av forskjellige parametere i fluidstrømmen 102. For eksempel, kombinasjonen av Coriolismetere og gassvolumandelsemetere kan være en forbedret utgangsmåling av tettheten, strømningsmasse, netto oljestrømningsrate og netto vannstrømningsrate (for en strømning innbefattende en luftet olje/vannblanding). Denne kombinasjonen er tilsvarende det som er beskrevet i US patentsøknad nr. 10/892.886 (advokatdokument nr. CC-0762), innlevert 15. juli 2004, som her er referert til ved referanse.

For eksempel, en fremgangsmåte for å korrigere unøyaktigheter i densiometere involverer å integrere en hastighet til lydmåling i prosessfluidet med den naturlige frekvensmålingen til et vibrerende rørtetthetsmeter for å forme et system med en forbedret mulighet til å operere nøyaktig med luftede fluider. Å innføre en sanntid, hastighet-til-lyd måling adresseres effektene med lufting og flere nivåer med den hensikt å muliggjøre vibrasjon-rør-basert tetthetsmåling for å fortsette å rapportere væsketetthet under tilstedeværelse av innblandet luft med nøyaktig tilnærming til denne for en ikke-luftet væske. For det første, ved å måle prosesslydhastigheten med prosesstrykk, kan luftenivået til prosessfluidet bli bestemt med høy nøyaktighet på en sanntidsbasis. For det andre, vil sanntidsmålingene til lydhastigheten og den utledede målingen av gassvolum-

andel så bli brukt med empirisk utledede korreksjonsfaktorer for å forbedre tolkningen av den målte naturlige frekvensen til vibrasjonsrøret uttrykt i tettheten av det luftede fluidet. For det tredje vil den kombinerte kunnskapen av luftet blandingstetthet og luftet blandingslydhastighet muliggjøre bestemmelsen av den ikke-luftede væskekomponent-tettheten, som gir forbedret sammensetningsmessig informasjon. Legg merke til at væskefase typisk inkluderer rene væsker, blandinger av væsker, så vel som væsker/faste blandinger.

For densiometere, slik som et Coriolis-meter, vil en minkning i nøyaktigheten av målingene når det innføres boblende fluider, være godt dokumentert. Faktisk har andre forsøkt å korrigere virkningen av innblandet luft ved å korrelere observerte feil i massestrøm til gassvolumandelen innenfor prosessfluiden. Disse forfatterne foreslo en korreksjon basert på GVF som er følgende:

$$R = \frac{2\alpha}{1-\alpha}$$

hvor $\alpha$ repersenterer gassvolumandelen og R representerer minkningene i målt (tilsynelatende) massestrøm normalisert med den sanne massestrømmen. Dermed, ved å bruke denne korrelasjonen, vil en 1% økning i innblandet luft resultere i en, grovt sett, 2% underestimat av den faktiske massestrømmen. Selv om denne formelen ser ut til å fange den generelle trenden observert eksperimentelt, har den to ulemper for bruk i området. For det første har Coriolis-metret typisk ingen direkte måte å måle gassvolumandelen på. Det er blitt foreslått å bruke den målte tilsynelatende tettheten av fluidet for å estimere nivået av innblandet luft, imidlertid, dette er problematisk siden både de to fundamentale målingene, faseforskjell og naturlig frekvens, er påvirket av forandringer i den reduserte frekvensen til Coriolis-vibrasjonen. For det andre er det usannsynlig at gassvolumandelen er den eneste variabelen som påvirker relasjonen mellom målt faseforskjell og massestrøm og den målte naturlige frekvensen og tetthet. Selv om gassvolumandelen ser ut til å være korrelert over i det minste et visst område av parametere er fysikken til problemet slik at det ser ut til at lydhastigheten, via en redusert frekvenseffekt, også kan ha en direkte påvirkning på datatolkningen.

En fremgangsmåte vil være å bruke en direkte lydmåling fra prosessfluidet for å hjelpe til i tolkningen av Coriolis-metret. I denne tolkningen vil de utviklede reduserte frekvensparameterne her være inkludert i tolkningen av relasjonen mellom faseforskjellen i de vibrerende rørene og massestrømmen så vel som en direkte rolle i tolk-

ningen av den naturlige frekvensen til de oscillerende strømningsrørene uttrykt i prosessfluidtetthet. Lydhastighetsmålingen, kombinert med kunnskap om prosessvæske og gasskomponenter så vel som prosesstemperatur og trykk, muliggjør likeledes en direkte måling av innblandet luft. Dermed vil den reduserte frekvensparameteren og gassvolumandelene kunne bli brukt som innganger i tolkningen av faselatens uttrykt i massestrømning. På grunn av den sterke relasjonen mellom luftinnhold i væsker og blandingens lydhastighet vil rollen til den reduserte frekvensparameteren i tolkningen av den fundamentale målingen av Coriolis-metere ha mer uttalt effekt i boblende strømninger. Imidlertid, forandringer i lydhastighet og dermed redusert frekvens for operasjon i forskjellige typer av væsker og andre prosessblandinger, har en effekt på tolkningen og dermed nøyaktigheten til Coriolis-metere brukt i disse anvendelsene. Betrakt for eksempel ytelsen til et Coriolis-meter på to væsker – vann og olje. Ved å anta at fluidene har forskjellige tettheter og lydhastigheter, vil de forskjellige fluidegenskapene antyde at Coriolis-metret vil være opererende på forskjellige reduserte frekvenser. Den reduserte frekvensen for vannet vil typisk være ~10%-30% lavere enn det for oljeanvendelsen. Ved å forstå dette, mens de er forskjellige, vil den reduserte frekvensen for begge applikasjonene fremdeles være "liten", påvirkningen på nøyaktigheten behøver ikke å være signifikant. Imidlertid, noen grad av unøyaktighet blir innført ved ikke å ta hensyn til forskjellene i den reduserte frekvensen av operasjon for Coriolis-metret i denne anvendelsen. For andre tetthetsmetere, slik som nukleære tetthetsmetere, vil disse metrene kunne bli korrigert enkelt ved å kjenne gassvolumandelen (eller gasstomhetsandelen) til fluidet.

Med referanse til figur 17 er et påklemt trefasestrømningsmåleapparat 310 vist som gir en faseandelsmåling av fluidstrømmen og en volumetrisk strømningsrate for hver av fasene til strømmen 102. Strømmen kan være full eller delvis full (dvs. lagdelt). Påklemmingsapparatet 310 innbefatter et strømningsmeter 312 som har et flertall av belastningsbaserte sensorer lagt ut langsgående langs røret 104 tilsvarende det som er vist i figur 15. Strømningsmetret 312 prosesserer dataene fra matrisen med sensorer på tilsvarende måte som beskrevet foran her, som indikert i strømningslogikken til prosesseringsenheten 108 i figur 15 og figur 12, for å gi en fluidstrømningshastighet. Påklemningsapparatet 310 inkluderer videre et påklemningstetthetsmeter 314, slik som et nukleærtetthetsmeter, hvor sensorene til tetthetsmetret er posisjonert eller orientert tilnærmet kl. 6 og kl. 12 eller topp og bunn av røret 104 for å sikre den strålende strålen passere gjennom både gass og væske til en lagdelt strøm. Tetthetsmetret gir en tetthetsmåling som blir brukt til å bestemme gassvolumandelen i 3-fasefluidet. Påklemmingsapparatet 310 inkluderer videre i det minste én ultralydsensor 316 for å bestemme vann-

andelen av væskefasen til de tre fasefluidene 102. Sensoren 316 er lagt ut ortogonalt på sensorene til tetthetsmetret kl. 3 og kl. 9 eller i den horisontale posisjonen for å sikre at ultralydstrålen eller signalet brer seg primært gjennom væsken i en lagdelt fluidstrøm. Data og/eller følge signaler til de tre påklemte innretningene 312, 314, 316 er gitt til en strømningsdatamaskin 320 som prosesserer dataene ved å bruke en multifasestrømningsmodell 400 for å gi trefasestrømningsmålinger 302 til fluidstrømmen 102, slik som sammensetningsdata (dvs. faseandel for hver fase av fluidet), hastighet til hver fase av fluidet 102, volumetrisk strømningsrate til hver fase og massestrømningsrate til hver fase. Det bør være forstått at multifasestrømningsmodellen 400 mottar strømningsdataene fra hver innretning 312, 314 og 316 og prosesserer strømningsdataene for å optimalisere og korrigere enhver feil, unøyaktighet og/eller forskjellige strømningsbetingelser eller regimer. Disse optimaliserte utgangsstrømningsdata blir så sendt ut som trefasestrømningsmåledata 402.

Med referanse igjen til figur 17, selv om sensorene til tetthetsmetret 314 (og dermed stråleretningen) er vist som å være lagt ut vertikalt i en kl. seks- og kl. tolvposisjon relativ til strømmen 102, bør det være forstått at sensorene (og dermed strålen) til tetthetsmetret 314 kan være lagt ut i enhver orientering relativt til strømmen 102 passende for det ønskede sluttformålet. For lagdelte strømninger vil et gamma tetthetsmeter kunne være sensitivt for lagdeling når strålen beveger seg gjennom fluidstrømmen i den vertikale retningen. Effektivt vil tetthetsmetret måle høyden av et grensesnitt heller enn opphopning eller gassvolumandel. Ved å rotere tetthetsmetret en liten størrelse vil følsomheten til tetthetsmetret overfor lagdeling eller delvis fylt rør, bli redusert. Ved å rotere strålen bort fra den vertikale aksen ved tilnærmet 26,5 grader har dette vist en forbedring i målingen.

Figur 18 illustrerer et skjematisk diagram over brønnovervåkingssystem hvor innmatnings- og utmatningsstrømmer av en fluidseparator er gitt. Spesifikt vil påklemmings-multifasemåleapparatet 310 i figur 17 bli brukt til å måle strømningen som passerer innenfor innmatningsrøret til separatoren. Måleapparatet i figur 16 er anordnet på væskegrenen av separatoren for å måle parameterne til den luftede væskeblandingen (dvs. luftet olje- og vannblanding). Gassgrenen til separatoren inkluderer en våt gass-strømmåleinnretning tilsvarende den som er beskrevet i US provisorisk patentsøknad nr. 60/724.952 (advokatdokument nr. CC-0832), innlevert 6. oktober 2005, og US provisorisk patentsøknad nr. 60/697.479 (advokatdokument nr. CC-0820), innlevert 7. juli 2005, som her er referert til. Utførelsen gitt i figur 18 inkluderer videre et strømningsmeter 318 som innbefatter en matrise med ultralydsensorer tilsvarende de som er vist og

beskrevet i figur 1, figur 4 og figur 16. Strømningsmetret 318 kan bli brukt i kombinasjon med det passive strømningsmetret 312 og differensielt trykk (DP) meter, eller enkelt i kombinasjon med DP metret.

Man vil forstå at mens hver av apparatene inkluderer innretninger i en bestemt rekkefølge på røret vil man forstå at innretningene kan være lagt ut i enhver rekkefølge.

Dimensjonene og/eller geometriene for enhver av utførelsene beskrevet her er ment å bare illustrere, og slik sett vil andre dimensjoner og/eller geometrier kunne bli brukt, om ønsket, avhengig av applikasjonen, størrelse, ytelse, fremstillingskrav aller andre faktorer sett i lys av læren her.

Det bør være forstått at, dersom det ikke er uttalt annerledes her, vil enhver av egenskapene, karakteristikkene, alternativer eller modifikasjoner beskrevet her med hensyn til en bestemt utførelse her også kunne bli anvendt, brukt eller bli innarbeidet med enhver annen utførelse beskrevet her. Tegningene vil heller ikke her være tegnet til skala.

Selv om foreliggende oppfinnelse er blitt beskrevet og illustrert med hensyn til eksempler på utførelser av denne, vil det foregående og forskjellige andre tillegg og utelatelser kunne bli gjort til disse uten å avvike fra ånden og rekkevidden av foreliggende oppfinnelse.

P a t e n t k r a v

1.

Apparat for å bestemme en karakteristikk til en luftet fluid (102) som strømmer i et rør (104), hvor apparatet omfatter:

i det minste en første føleinnretning (112-118, 120-126) assosiert med røret for å føle en lavfrekvent komponent og en høyfrekvent komponent til den luftede fluidstrømmen, hvor den i det minste ene første føleinnretningen genererer første sensordata som reaksjon på lavfrekventkomponenten til det luftede fluidet som indikerer lydhastighet ved frekvenser under en bobleresonansfrekvens som er en overgangsfrekvens, hvor lyhastigheten som propagerer gjennom fluidet under overgangsfrekvensen influeres av innblandede gasser, og hvor innblandede gasser ikke har noen signifikant påvirkning over overgangsfrekvensen, og andre sensordata som indikerer en volumetrisk fluidstrømningsrate som reaksjon på den høyfrekvente komponenten til den luftede fluidstrømmen,

i det minste en andre føleinnretning (302) assosiert med røret for å føle en tetthet eller massestrømningsrate til den luftede fluidstrømmen og for å generere tredje sensordata som indikerer en tetthet eller en massestrømningsrate som reaksjon på tettheten eller massestrømningsmålingen til den luftede fluidstrømmen; og

en prosesseringsinnretning (108), hvor prosesseringsinnretningen er i kommunikasjon med den i det minste ene første føleinnretningen og den i det minste andre føleinnretningen for å ta imot og å prosessere de første sensordataene, de andre sensordataene og de tredje sensordataene for å generere fluiddata som reaksjon på en karakteristikk i den luftede fluidstrømmen.

2.

Apparatet i henhold til krav 1, hvori karakteristikken til den luftede fluidstrømmen er i det minste én av en gassvolumandel (GVF), en volumetrisk strømningsrate, en vannandelsverdi som indikerer en faseandel av vann, en væskestrømningsrate og en netto/olje/vannrate.

3.

Apparatet i henhold til krav 1, hvori de andre sensordataene er reagerende på tetteheten eller massestrømingsmålingen og hastigheten til lyden gjennom en væskekomponent i fluidstrømmen.

4.
Apparatet i henhold til krav 1, hvori den i det minste ene første føleinnretningen inkluderer et flertall av føleinnretninger (112-118, 120-126), hvor flertallet av føleinnretninger er aksielt distribuert langs røret.

5.
Apparatet i henhold til krav 1, hvori den i det minste ene første føleinnretningen inkluderer en senderinnretning (TX) og en mottakerinnretning (RX), hvor, når senderinneretningen og mottakerinnretningen er assosiert med røret, vil senderinnretningen og mottakerinnretningen være lagt ut på motsatte sider av røret.

6.
Apparatet i henhold til krav 1, hvori apparatet inkluderer en festeinnretning for fjernbart og sikkert å assosiere apparatet med røret, hvor festeinnretningen er konfigurert for enkel fjerning og installasjon.

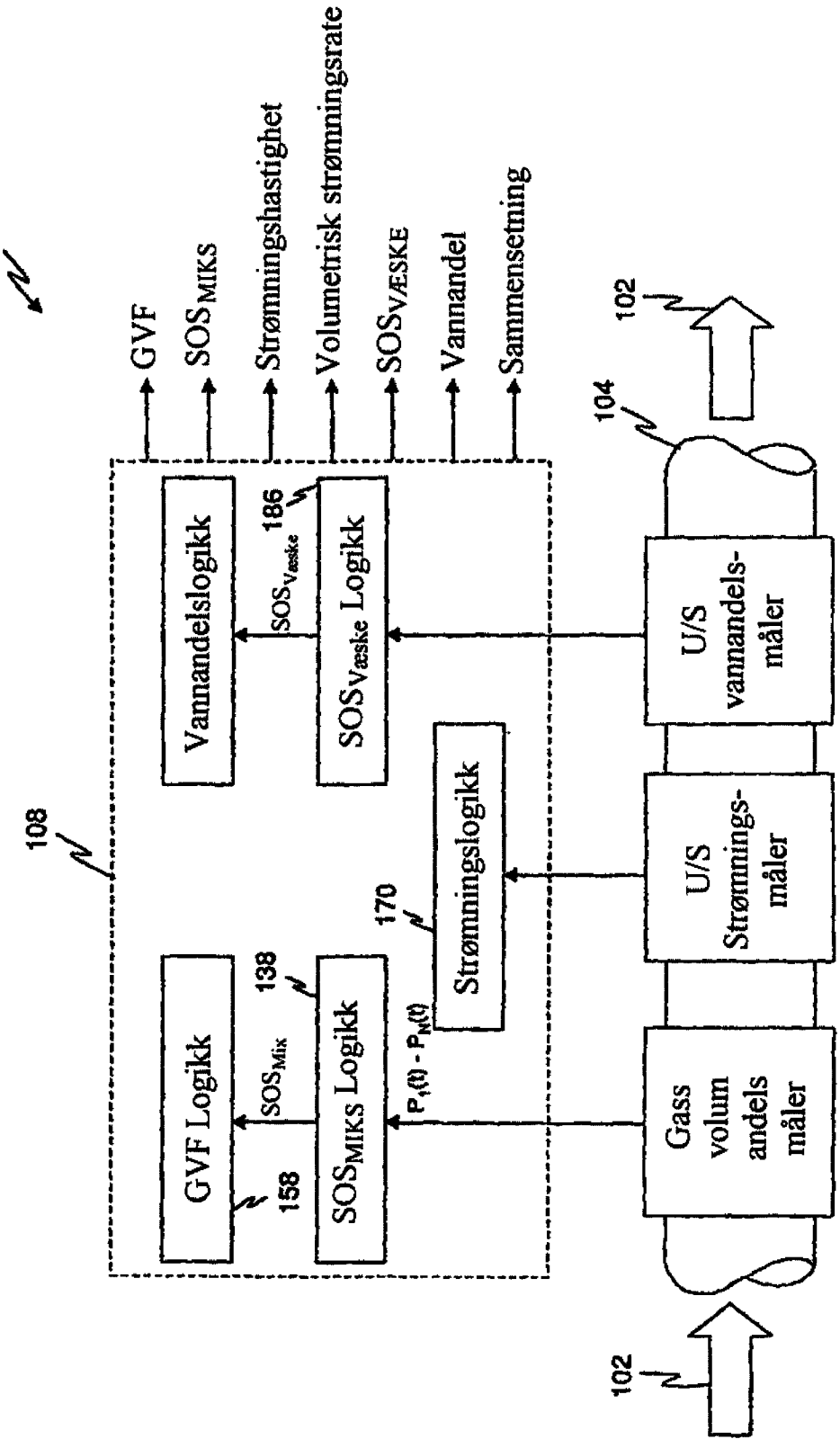
7.
Apparatet i henhold til krav 1, hvori apparatet er sikkert assosiert med en ekstern del av røret via en påklemmingsinnretning.

8.
Apparatet i henhod til krav 1, hvori
det luftede fluidet er et trefase multifasefluid;
den i det minste ene første føleinnretningen inkluderer en strømningsføleinnretning (318, 312, 314) og en vannandelsføleinnretning (316) for å føle en vannandelsverdi som indikerer en faseandel av vann;
den i det minste andre føleinnretningen inkluderer en tetthetssenseinnretning (302);
prosesseringsinnretningen (108, 320) inkluderer multifasestrømningsmodellogikk (400), hvor prosesseringsinnretningen (108, 320) er konfigurert til å ta imot strømningsratedata fra strømningsføleinnretningen (312, 318), tetthetsdata fra tetthetsføleinnretningen (302) og vannandelsdata fra vannandelsføleinnretningen (316),
hvori multifasestrømningsmodellogikken (400) mottar dataene fra hver av strømings-, tetthets- og vannandelssføleinnretningene og prosesserer dataene for å optimalisere og korrigere for eventuelle feil, unøyaktigheter og/eller ulike strømningsforhold eller regimer,

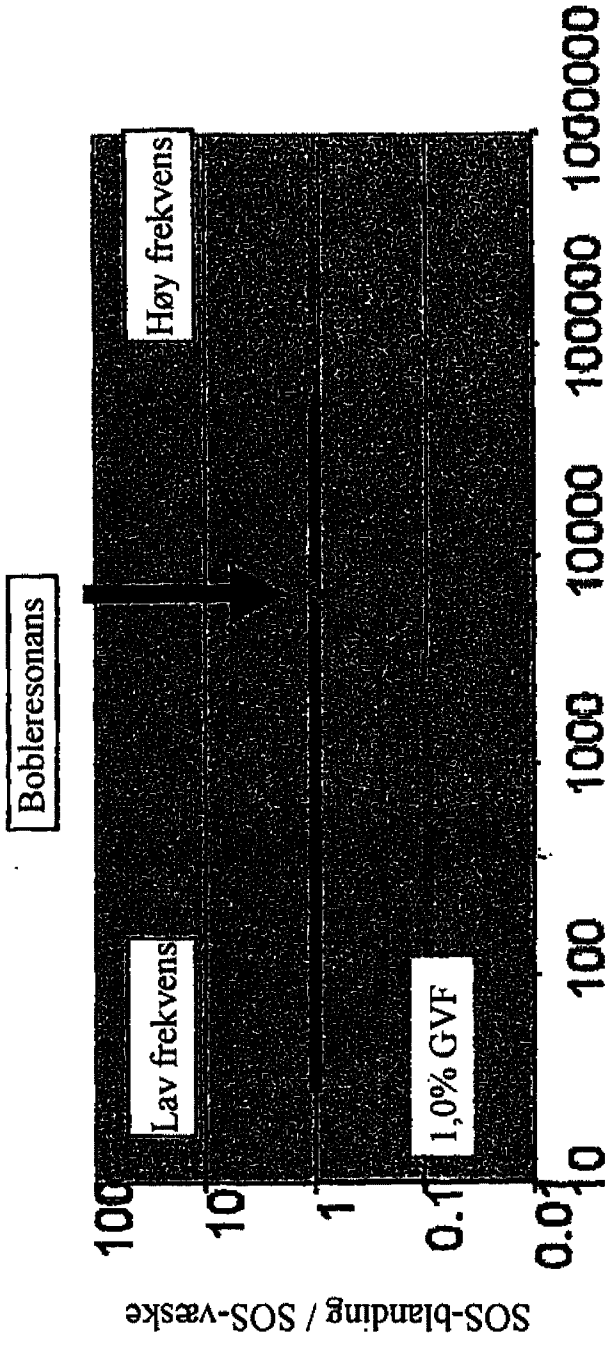
hvori strømningsdataene er trefasestrømningsmåledata som som kommer ut av multifasestrømningsmodellogikken (400).

9.

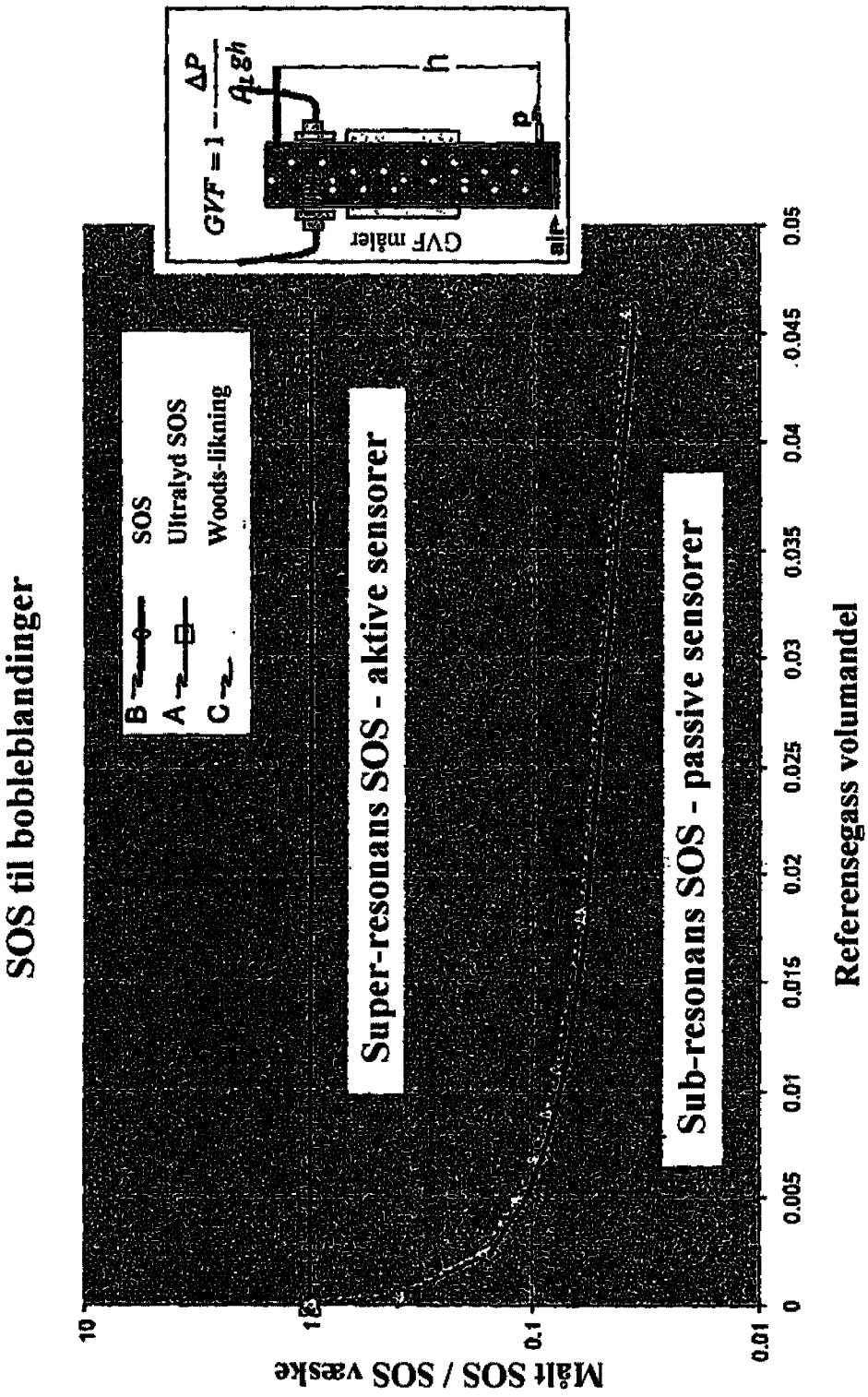
Apparatet i henhold til krav 8, hvori strømningsføleinnretningen, tetthetsføleinnretningen og vannandelsføleinnretningen er sikret til den ytre overflaten av røret.


100
GVF
SOSMIKS
Strømningshastighet
Volumetrisk strømningsrate
SOSVÆSKE
Vannandel
Sammensetning
102
104
U/S vannandels-måler
U/S Strømnings-måler
Gass volum andels måler
102
108
Vannandelslogikk
SOSVæske Logikk
186
SOSVæske
Strømningslogikk
170
GVF Logikk
158
SOSMIKS Logikk
138
SOSMik
P1(t) - PN(t)

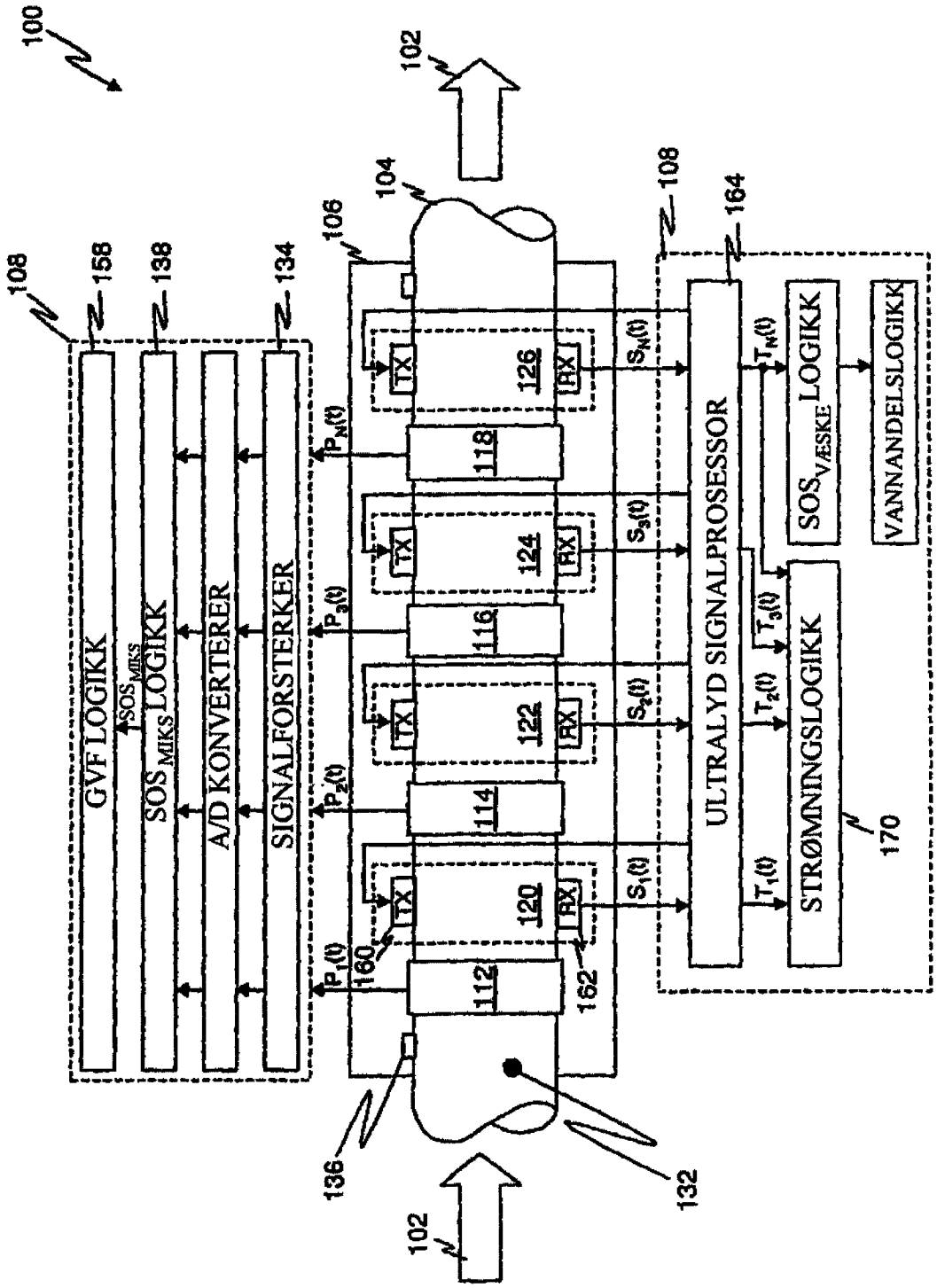
Figur 1


Bobleresonans
Lav frekvens
Høy frekvens
1,0% GVF
100
10
1
0.1
0.01
10
100
1000
10000
100000
1000000
Frekvens
SOS-blanding / SOS-væske

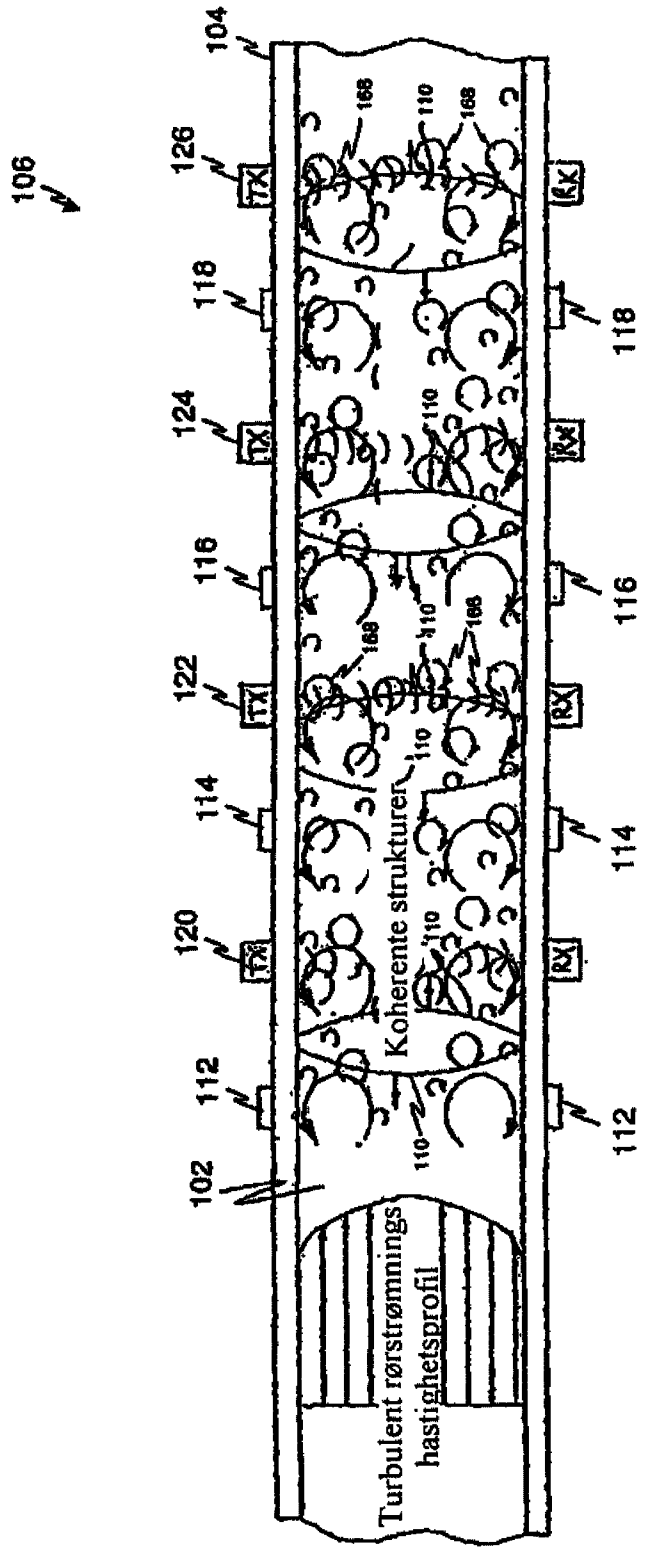
**Figur 2**


SOS til bobleblandinger
B SOS
A Ultralyd SOS
C Woods-likning
Super-resonans SOS - aktive sensorer
Sub-resonans SOS - passive sensorer
Målt SOS / SOS væske
Referensegass volumandel
10
1
0.1
0.01
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04
0.045
0.05
GVF måler
GVF = 1 − ΔP / ρ_L g h
h
p
air

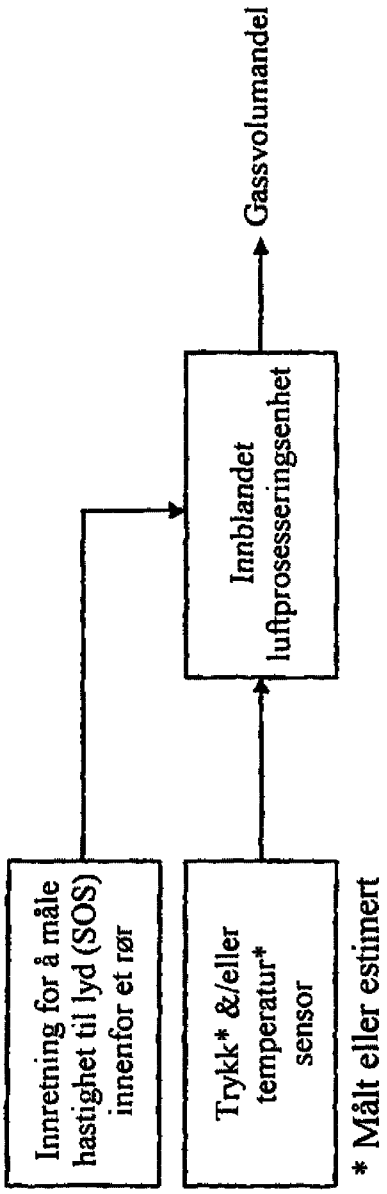
Figur 3


100
102
104
106
108
158
138
134
GVF LOGIKK
SOS MIKS
SOS MIKS LOGIKK
A/D KONVERTERER
SIGNALFORSTERKER
TX
RX
126
118
124
116
122
114
120
112
160
162
136
132
108
164
ULTRALYD SIGNALPROSESSOR
SOS VÆSKE LOGIKK
VANNANDELSLOGIKK
STRØMNINGSLOGIKK
170

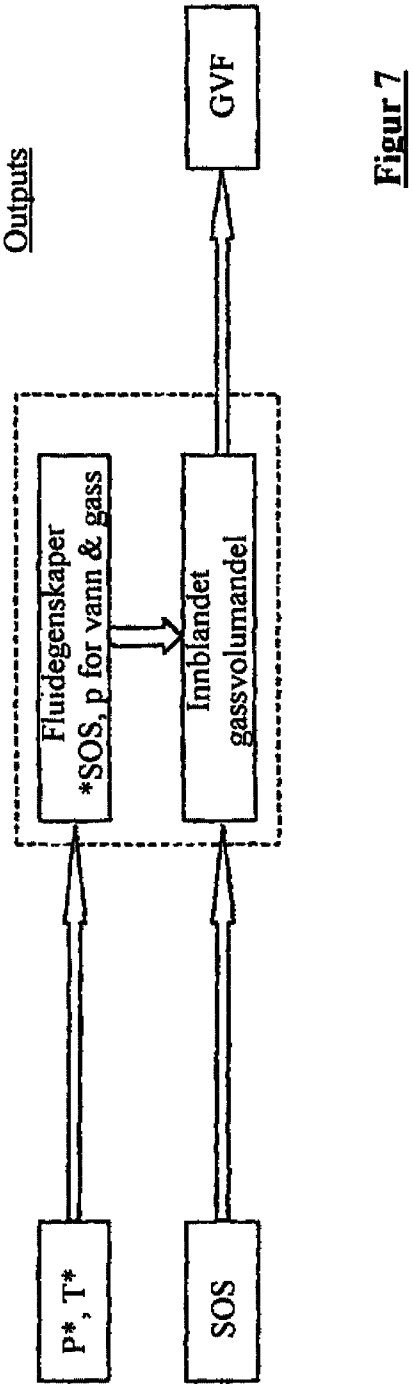
Figur 4


106
104
126
118
124
116
122
114
120
112
102
TX
RX
110
168
Koherente strukturer
Turbulent rørstrømnings hastighetsprofil

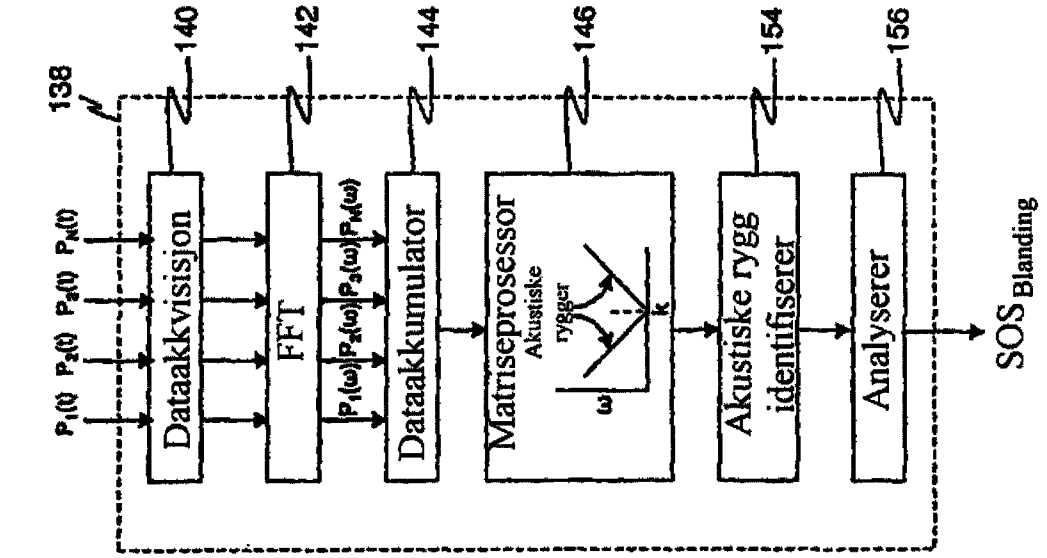
Figur 5



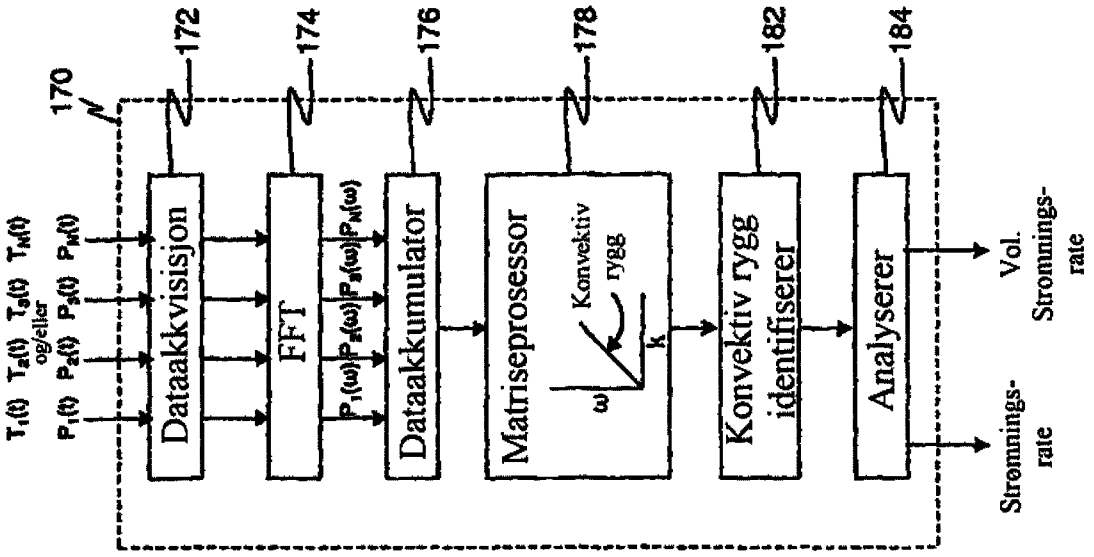

Figur 6



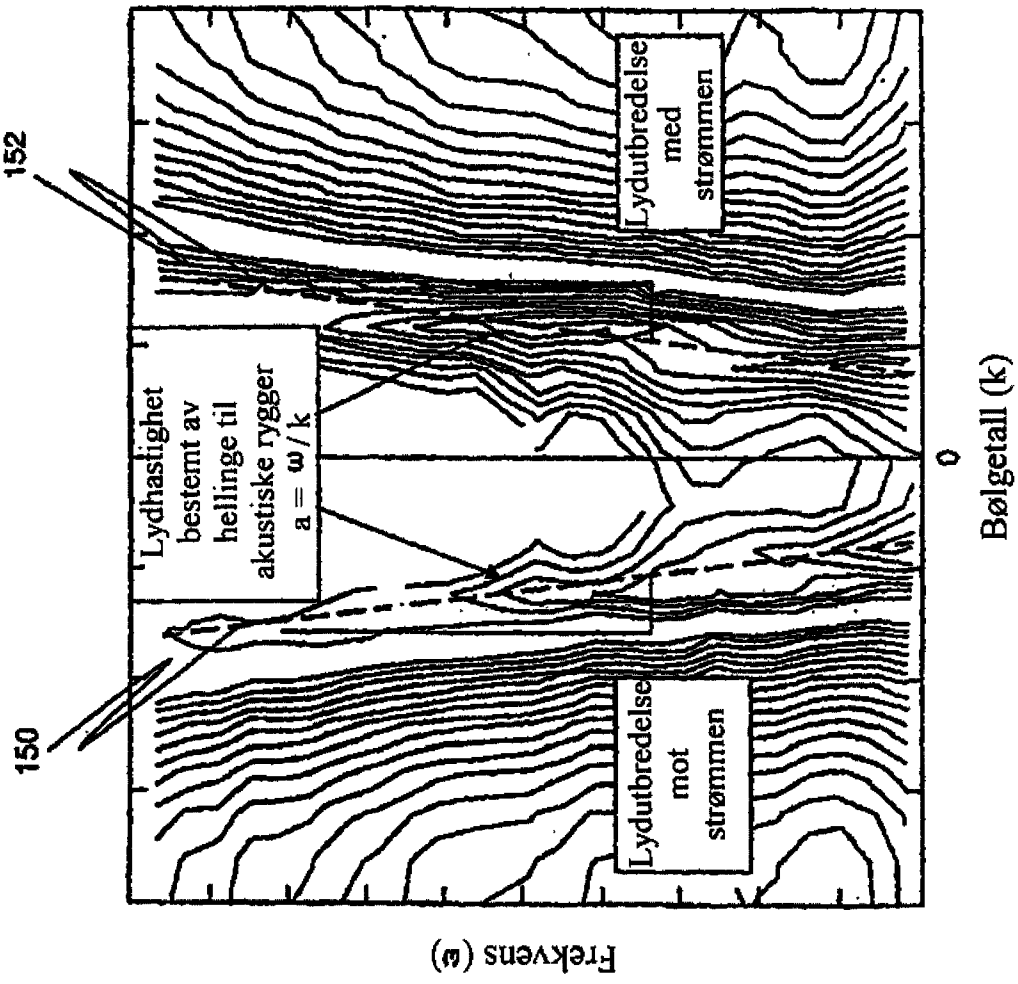

Figur 7



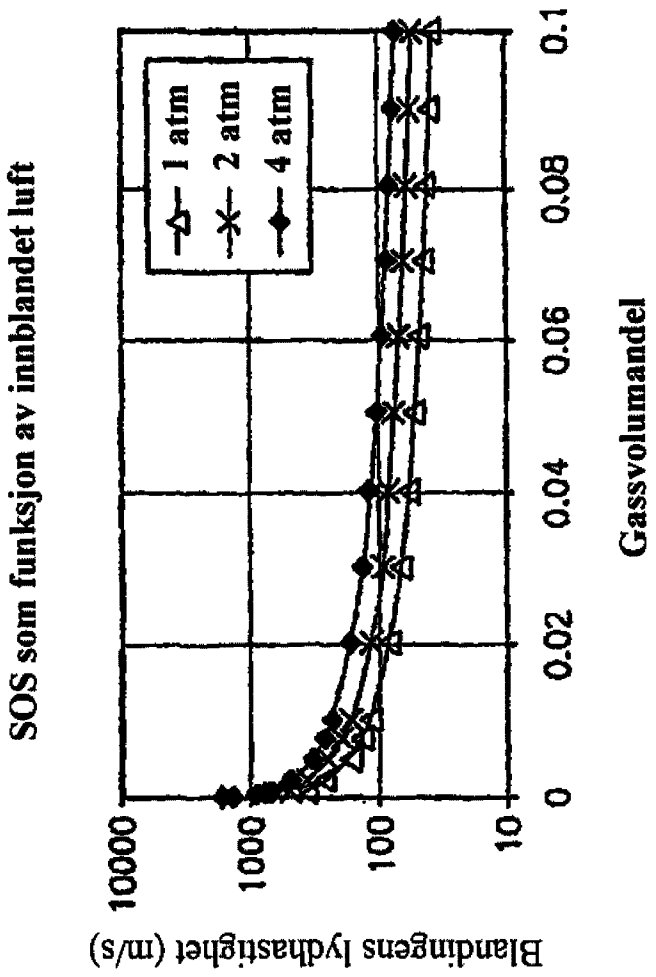

Figur 8



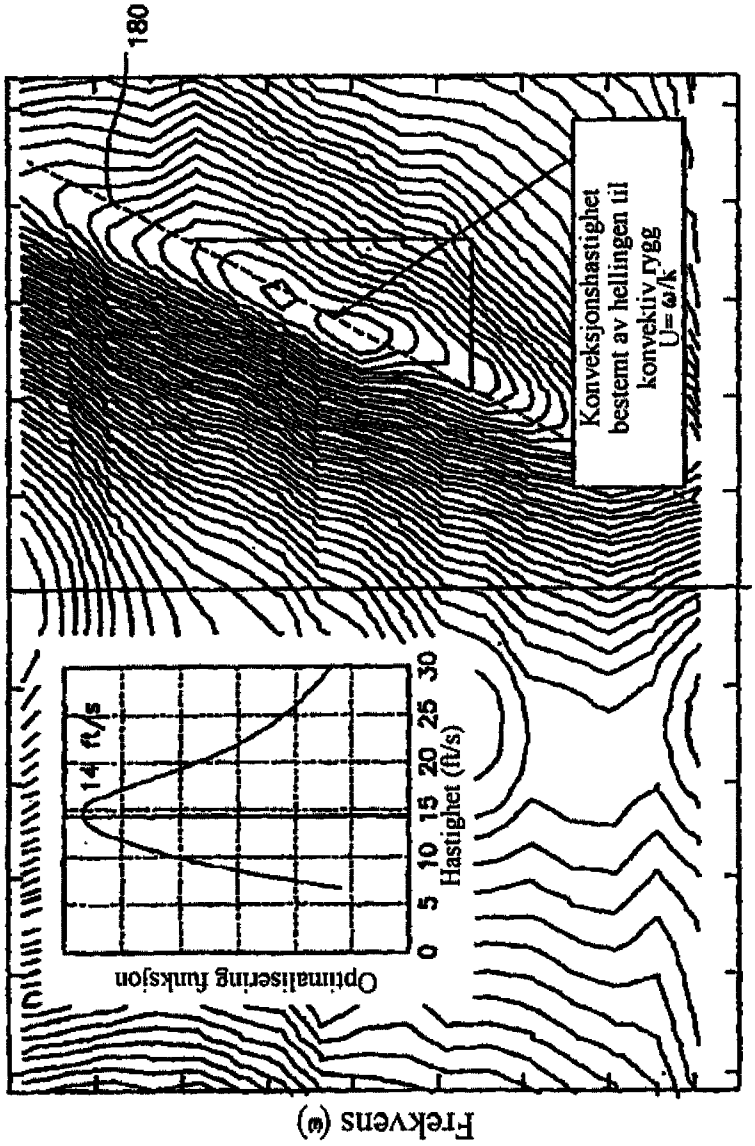

Figur 11


152
150
Lydhastighet bestemt av hellinge til akustiske rygger a = ω / k
Lydutbredelse med strømmen
Lydutbredelse mot strømmen
0
Bølgetall (k)
Frekvens (ω)

Figur 9


SOS som funksjon av innblandet luft
1 atm
2 atm
4 atm
Blandingens lydhastighet (m/s)
10000
1000
100
10
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
Gassvolumandel

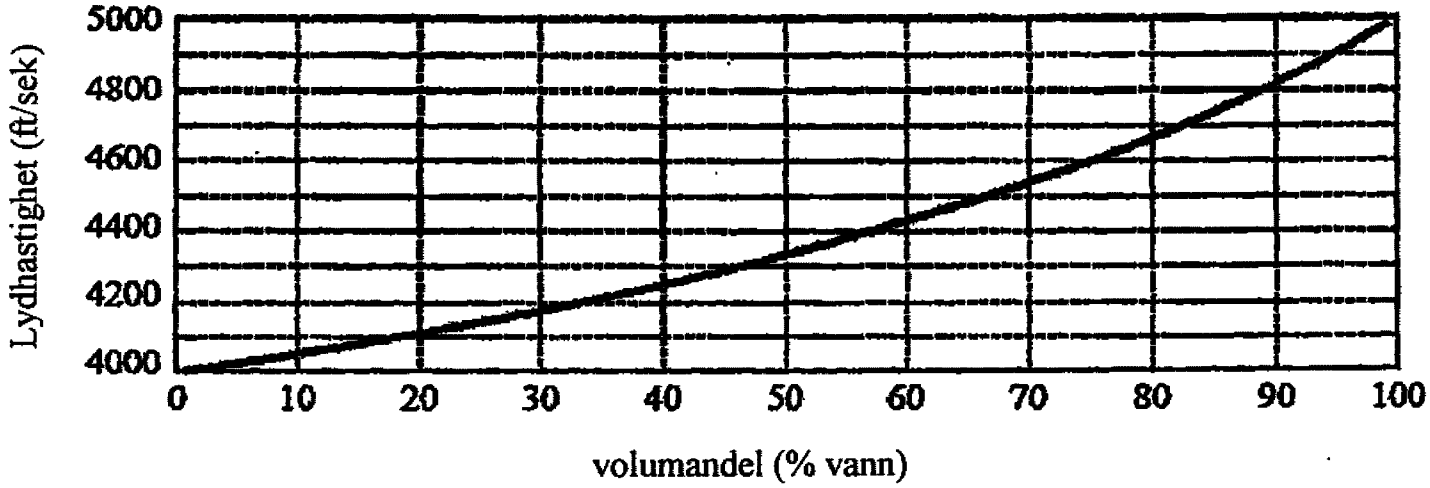
Figur 10


180
0
Bølgetall (k)
Frekvens (ω)
Konveksjonshastighet bestemt av hellingen til konvektiv rygg
U= ω/k
Optimaliseringsfunksjon
14 ft/s
0 5 10 15 20 25 30
Hastighet (ft/s)

Figur 12

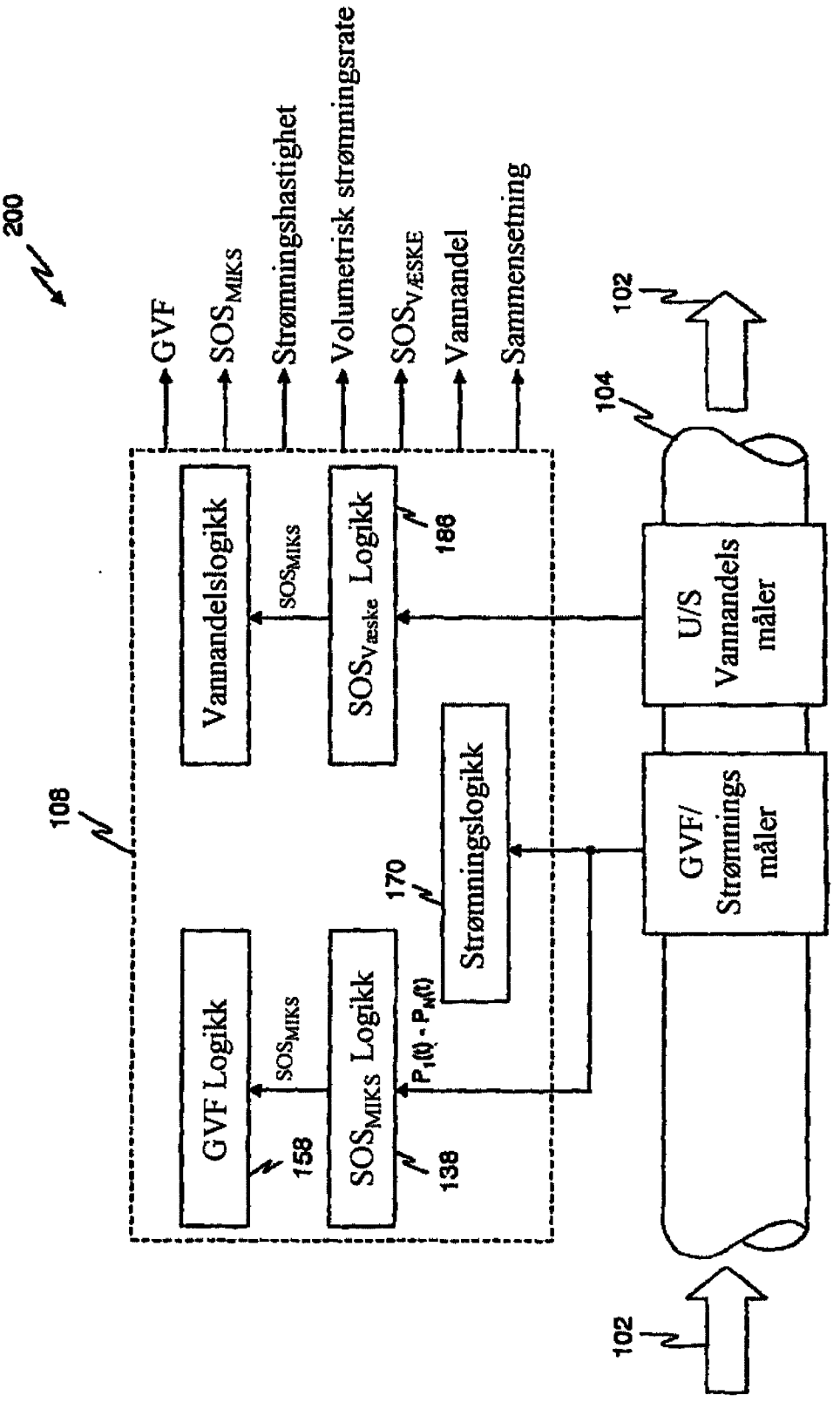
# Ultralyd SOS = $SOS_{væske}$

## Eksempel : olje & vannblanding

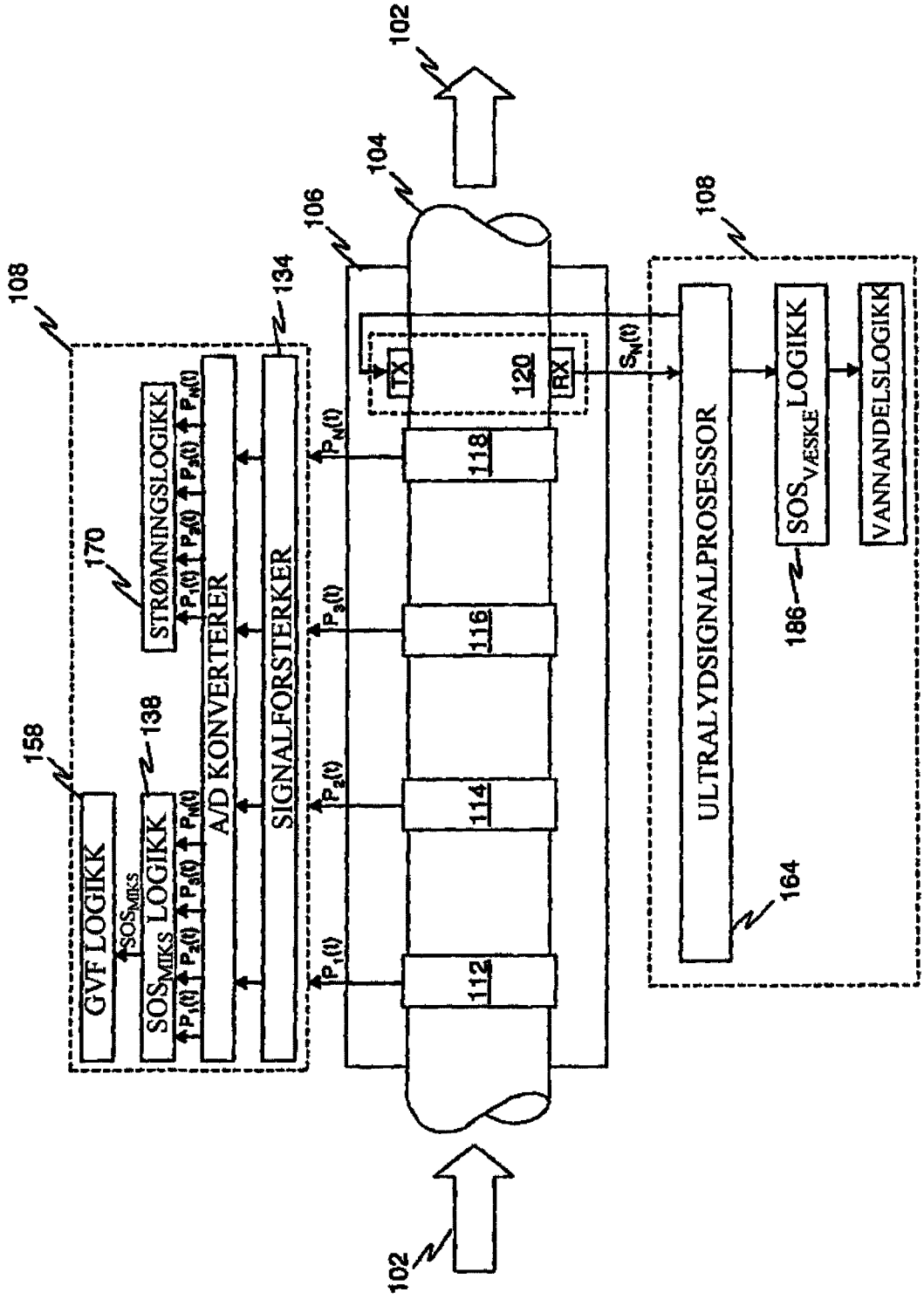



$$\phi_{vann} = f\,(SOS_{væske}\,,\ SOS_{olje},\ SOS_{vann},\ P_{olje}\,,\ P_{vann}\,)$$

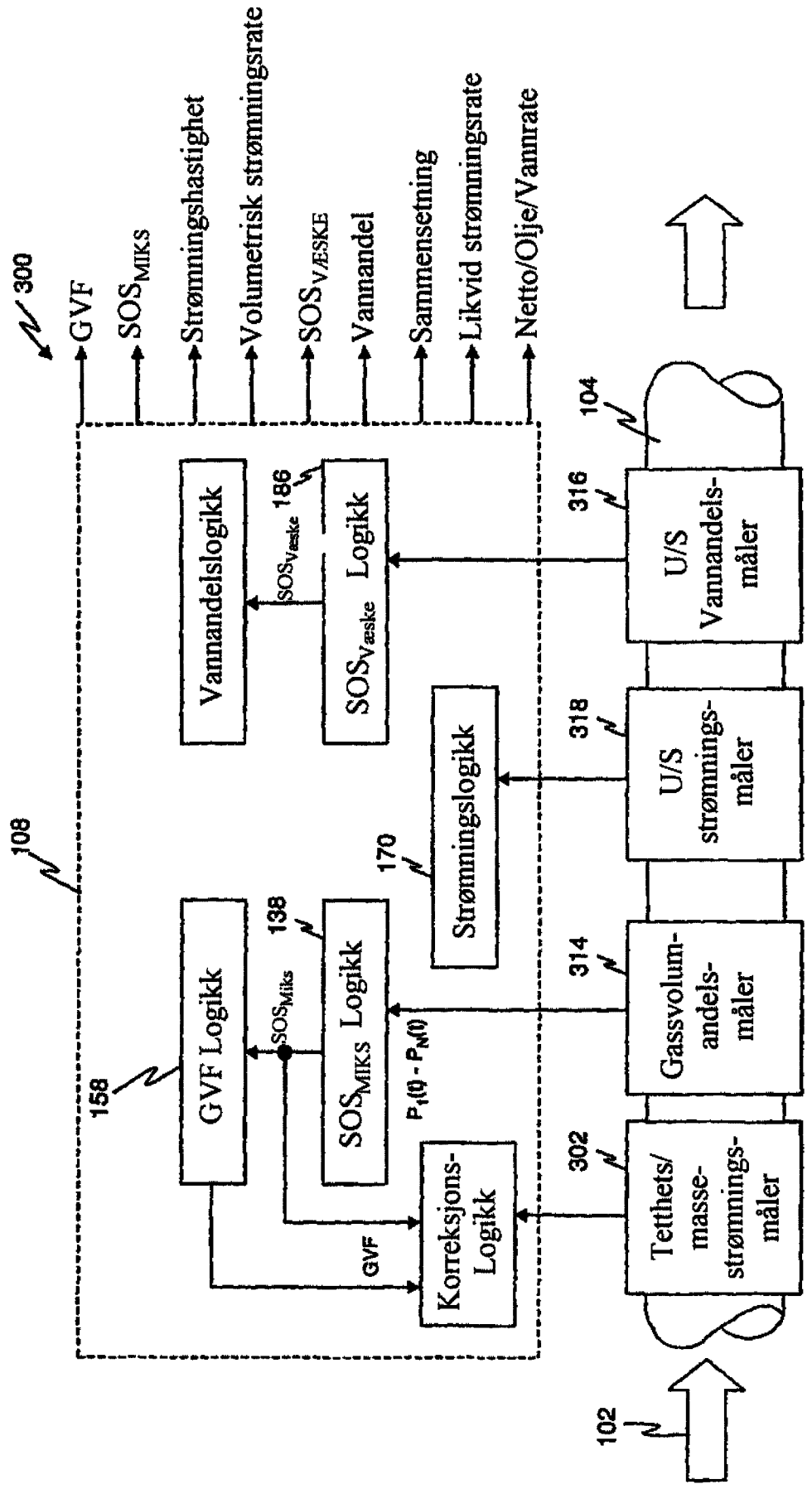
**Figur 13**


200
GVF
$SOS_{MIKS}$
Strømningshastighet
Volumetrisk strømningsrate
$SOS_{VÆSKE}$
Vannandel
Sammensetning
108
Vannandelslogikk
$SOS_{MIKS}$
$SOS_{Væske}$ Logikk
186
GVF Logikk
158
$SOS_{MIKS}$ Logikk
138
170
Strømningslogikk
$P_1(t) - P_N(t)$
102
104
U/S Vannandels måler
GVF/ Strømnings måler
102

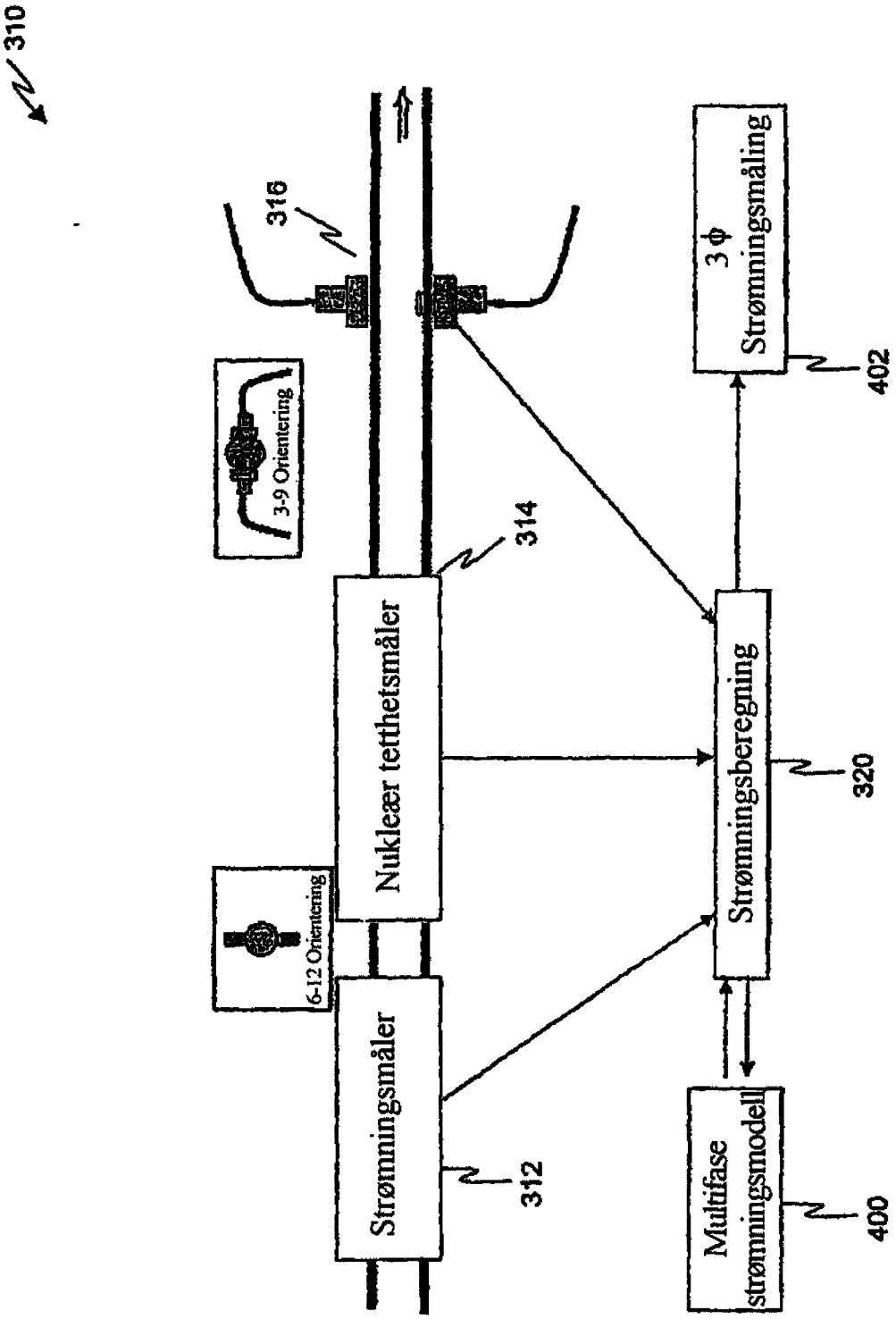
Figur 14


102
104
106
108
134
158
138
170
GVF LOGIKK
$SOS_{MIKS}$ LOGIKK
STRØMNINGSLOGIKK
A/D KONVERTERER
SIGNALFORSTERKER
TX
RX
120
118
116
114
112
$P_N(t)$
$P_3(t)$
$P_2(t)$
$P_1(t)$
$S_N(t)$
ULTRALYDSIGNALPROSESSOR
164
$SOS_{VÆSKE}$ LOGIKK
186
VANNANDELSLOGIKK

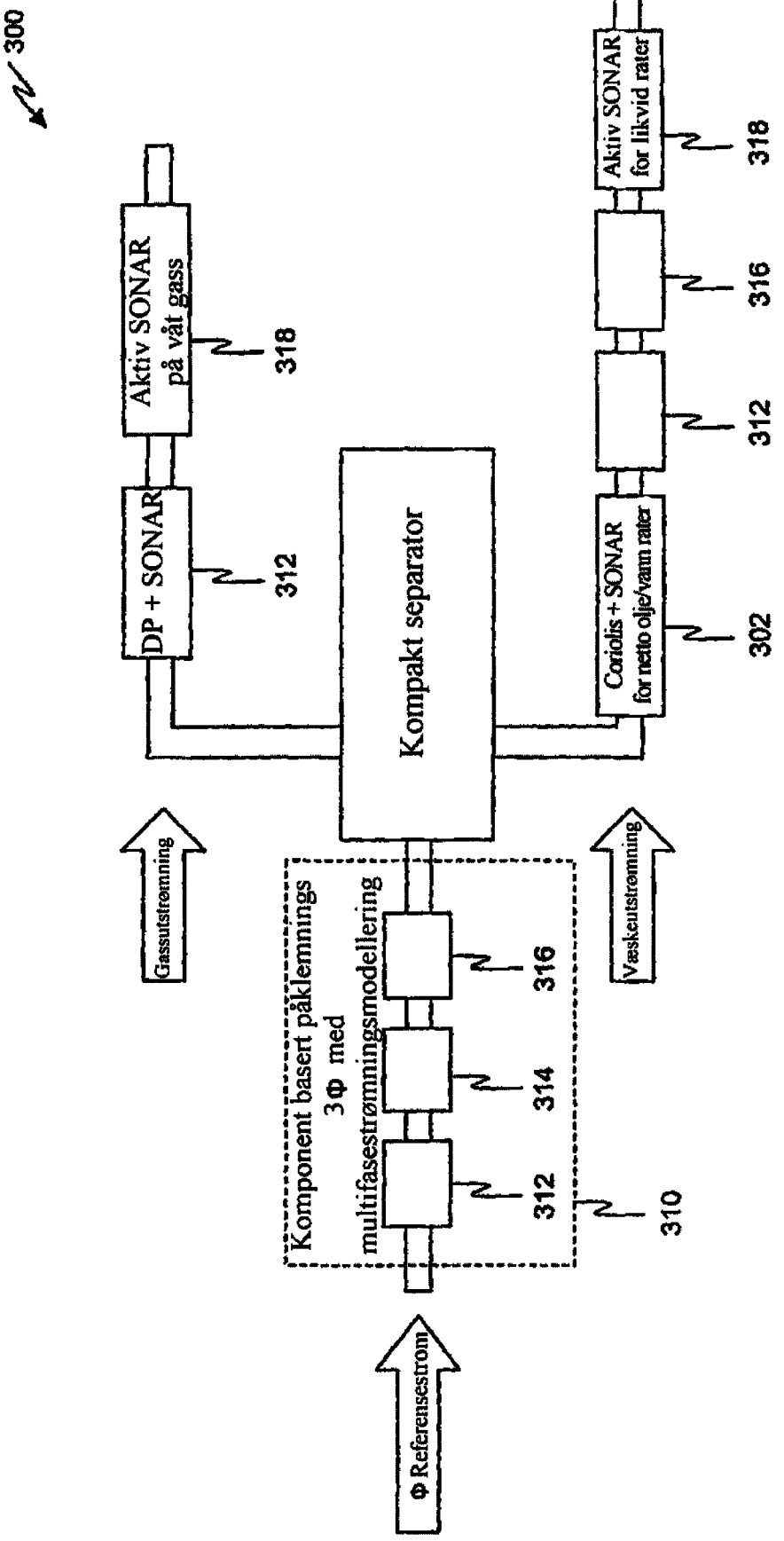
Figur 15


300
GVF
SOS$_{MIKS}$
Strømningshastighet
Volumetrisk strømningsrate
SOS$_{VÆSKE}$
Vannandel
Sammensetning
Likvid strømningsrate
Netto/Olje/Vannrate
108
158
GVF Logikk
138
SOS$_{Miks}$
SOS$_{MIKS}$ Logikk
P$_1$(t) - P$_N$(t)
GVF
Korreksjons-Logikk
170
Strømningslogikk
Vannandelslogikk
186
SOS$_{Væske}$
SOS$_{Væske}$ Logikk
302
Tetthets/ masse-strømnings-måler
314
Gassvolum-andels-måler
318
U/S strømnings-måler
316
U/S Vannandels-måler
104
102

Figur 16


310
316
3-9 Orientering
6-12 Orientering
Nukleær tetthetsmåler
314
Strømningsmåler
312
3 ϕ
Strømningsmåling
402
Strømningsberegning
320
Multifase
strømningsmodell
400

Figur 17


300
Aktiv SONAR
på våt gass
318
DP + SONAR
312
Kompakt separator
Coriolis + SONAR
for netto olje/vann rater
302
312
316
Aktiv SONAR
for likvid rater
318
Gassutstrømning
Væskeutstrømning
Komponent basert påklemmings
3Φ med
multifasestrømningsmodellering
316
314
312
310
Φ Referansestrøm

Figur 18