



(12) **UTLEGNINGSSKRIFT**

(19) NO

(11) **169310**

(13) **B**

(51) Int Cl⁵ G 01 F 1/74

Styret for det industrielle rettsvern

(21) Søknadsnr 870691
(22) Inng. dag 20.02.87
(24) Løpedag 20.02.87
(41) Alm. tilgj. 24.08.87
(44) Utlegningsdag 24.02.92
(62)

(86) Int. inng. dag og søknadsnummer

(85) Videreføringsdag
(30) Prioritet 21.02.86, GB, 8604397

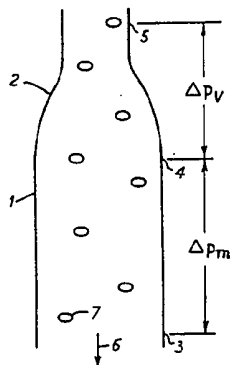
(71/73) Søker/Innehaver Schlumberger Limited, Emancipatie Boulevard 18, Willemstad, Curaçao, AN
(72) Oppfinner(e) Andrew Hunt, Orwell, Royston, England, GB
Leslie Bradbury, Noss Mayo, Devon, England, GB
(74) Fullmektig Pål Gulbrandsen, Bryn & Aarflot AS, Oslo

(54) Benevnelse **Strømningsmåler samt fremgangsmåte for måling av en tofase fluid- volumstrøm**

(56) Anførte publikasjoner USA (US) patent nr. 4231262.

(57) Sammendrag

Et gradiomanometer (1) måler trykkforskjellen mellom punkter (3 og 4) for angivelse av densitet og følgelig andeler av to faser (f.eks. væske og gass) som hver er av kjent densitet og strømmer som antydnet ved pil 6. En venturimåler (2) måler trykkforskjellen mellom punkter (4 og 5) for å angi volumstrøm som innledningsvis antas å gjelde bare den tyngre fase. En gjentatt beregning gjør det mulig å oppnå en densitetsmåling som er korrigert for strømningsfriksjon og enkelt-volumstrømmer av de to komponenter, under hensyn til innbyrdes glidning. En avtrap- pet diskontinuitet (8) kan være anordnet nedstrøms for å skape turbulens og gjøre strømmen homogen.



Foreliggende oppfinnelse angår en strømningsmåler for måling av strømning i et rør slik som et borehull, særlig tofase-strømning.

En venturimåler er én av et antall kjente anordninger for måling av volumstrømmen av én eller flere væske- eller gassfaser langs et rør. En måling av trykkforskjellen mellom to rørsesjoner av forskjellig diameter og forbundet ved en jevn overgang i diameter kan, ved bruk av Bernoullis ligning, tolkes som en måling av endring i bevegelsesmengde og således hastighet. Venturimålere er nyttige i rør slik som borehull fordi de er mer robuste og mindre utsatt for erosjon enn andre kjente anordninger slik som turbin-måleren. Dessuten rager de ikke inn i selve røret. Som eksempel på kjent teknikk kan nevnes US patentskrift 4 231 262.

For å kunne beregne volumstrømmen ut fra venturimålerens trykkforskjell-måling må man kjenne fluidets densitet. Densiteten til et strømmende fluid kan finnes ut fra målingen av en trykkforskjell langs en parallell rørsesjon. Anordninger for utførelse av slike målinger er kjent under betegnelsen gradiomanometre[®], dvs en anordning for måling av trykkforskjellen mellom to i lengde- og vertikalretningen atskilte steder langs et rør.

Hovedformålet med foreliggende oppfinnelse er å tilveiebringe en særlig enkel og robust strømningsmåler som innbefatter et gradiomanometer og som ikke sperrer røret.

Dette formål oppnås med en strømningsmåler som angitt i de etterfølgende krav 1 - 3. Ved hjelp av dette apparat kan således innhentes en differensialtrykk-måling langs en parallell rørsesjon og en differensialtrykk-måling mellom to rørsesjoner av forskjellig tverrsnittsareal, med en jevn, mellkmliggende overgang, f.eks. en venturi. Målingen av fluid-densitet ved bruk av den første differensialtrykk-måling muliggjør beregning av strømningen gjennom venturien ut fra den andre differensialtrykk-måling.

Riktignok er det som ovenfor nevnt tidligere kjent å anvende både gradiomanometere[®] og venturimålere for innhenting av informasjon om fluidstrømning, men det er ikke tidligere foreslått å kombinere disse to instrumenter, tiltross for deres

enkle og robuste konstruksjon, med det formål for øye å innhente strømningsinformasjon om tofase-fluider. Grunnen kan bl.a. være at man ikke forventet tilstrekkelig nøyaktige resultater, ettersom densitetsmåling ved hjelp av gradiomanometer blir begunstig påvirket av friksjons-trykkfall mens strømningsmåling ved hjelp av venturimåler forstyrres av glidningen mellom de enkelte fluidkomponenter.

Når fluid strømmer i et rør vil friksjon mellom rørveggene og fluidet som er i berøring med veggene medvirke til trykkfall langs røret. Dette friksjonstap er proporsjonalt med kvadratet av strømningshastigheten og omvendt proporsjonalt med rørdiameteren. For å få en pålitelig densitetsverdi ut fra måling av differensialtrykk ved bruk av gradiomanometer er det nødvendig å ta hensyn til, og korrigere for, friksjons-trykkfallet.

I enkeltfase-strømmer er densiteten kjent eller den kan måles nøyaktig og venturimåleren kan gi resultater med god nøyaktighet. Ved flerfase-strømmer, slik som væske/væske eller gass/væske (f.eks. vann/olje eller gass/olje) er det umulig ut fra differensialtrykk-målinger å bestemme hvorvidt der foreligger noen forskjell i hastighet, eller glidning, mellom komponentfasene. Glidning er en feilkilde i volumstrøm-beregningen ettersom glidningens størrelse påvirkes av andelen av hver fase, i oljeindustrien betegnet som oppholdet ("holdup"), hvilket i sin tur påvirker fluidets totale densitet. Når det gjelder gass/-væske-strøm betegnes gass-oppholdet også som tomromsfraksjonen ("void fraction").

Verken glidningen eller friksjonstapet kan beregnes eksplisitt på grunnlag av tilgjengelig informasjon fra differensialtrykk-målinger. Imidlertid er det mulig å anslå korreksjonsverdier.

Oppfinnelsen omfatter også en fremgangsmåte for måling av volumstrømmen til et tofase-fluid, som angitt i det etterfølgende krav 5. Denne fremgangsmåte er basert på den erkjennelse at densitetsmålingen påvirkes av det innledningsvis ukjente friksjonstrykkfall mens volumstrøm-målingen påvirkes av den innledningsvis feilaktige densitetsmåling. En gjentatt prosedyre gjør det mulig å få tilnærmet korrekte verdier. Søkeren har

funnet at beregningene hurtig konvergerer og at det bare er nødvendig med svært få gjentakelser, f.eks. 2 eller 3.

Den ovenfor beskrevne fremgangsmåte kan anvendes for tolkingen av målinger i tofase gass/væske- eller væske/væskestrømmer, dersom densiteten til de to separate faser er kjent.

Differensialtrykk-målingene vil være misvisende dersom tofase fluidet ikke er rimelig homogent. Oppfinnelsen tilveiebringer dessuten en enkel og robust strømningsmåler med en integral homogeniseringsenhet, omfattende et rør som i seriekopling er utformet med en brå tverrsnittsendring for å skape turbulens med sikte på øket homogenisering, en rørlengde i hvilken turbulensen kan finne sted, et gradiomanometer og en venturimåler.

Figur 1 viser en første utføringsform av oppfinnelsen omfattende et gradiomanometer og en venturimåler koplet i serie,

Figur 2 viser en alternativ utføringsform med en integral homogeniseringsenhet, og

Figur 3 viser en modifisert form av den første utføringsform.

Figur 1 viser en rørlengde med en første seksjon 1 av konstant diameter fulgt av en seksjon 2 som jevnt går over i en mindre diameter under dannelse av en venturi. Tre trykkgivere, slike som lett finnes i vanlig handel, er anordnet ved punkter 3, 4 og 5. Ledningene til selve givene er fylt med en væske med densitet ρ_t . Istedenfor tre givere kan to differensial-givere anvendes, idet dette er det foretrukne arrangement. Punkt 4 er ved venturiens inngang, punkt 3 godt oppstrøms av punkt 4, idet strømning antas å finne sted i retning av pilen 6, og punkt 5 er nedstrøms av venturien. Det er således mulig å bestemme differensialtrykket ΔP_m over gradiomanometeret som dannes av seksjonen 1 og differensialtrykket ΔP_v over venturien. Bobler 7 symboliserer den lette fase i tofase-strøm.

ΔP_m vil, til en første tilnærming, gjøre det mulig å bestemme den midlere densitet av og følgelig forholdet mellom de to faser (som hver er av kjent densitet), og ΔP_v vil gjøre det mulig å bestemme volumstrømmen under den forutsetning at fluidet strømmer som et enkeltfase-fluid med densitet som bestemt fra

ΔP_m . Mer nøyaktige resultater oppnås imidlertid ved hjelp av følgende gjentatte prosedyre:

For gass/væske-strøm, der gassdensiteten er meget mindre enn væskedensiteten, kan systemet uttrykkes matematisk som følger, idet de anvendte tegn har den betydning som er angitt i den etterfølgende tegnforklaring.

Fra venturi-trykkfallet ΔP_v :

$$v_{1s} = K \sqrt{\Delta P_v} \quad (1)$$

hvor:

$$K = \sqrt{\frac{2}{\rho_1 \left\{ \left(\frac{d_4}{d_5} \right)^4 - 1 \right\}}} \quad (2)$$

$$v_{gs} = 0 \quad (3)$$

Fra gradiomanometer-trykkfallet ΔP_m finnes da et første anslag av gass-opphold y_g :

$$y_g = \frac{\Delta P_m + (\rho_l - \rho_t) g h_m + F_m}{(\rho_l - \rho_g) g h_m} \quad (4)$$

hvor:

$$F_m = \frac{2f\rho_m h_m (v_{1s} + v_{gs})^2}{d} \quad (5)$$

Her er f en friksjonsfaktor for røret (avhengig av Reynolds tall for strømmen) og $\rho_m = Y_g \rho_g + Y_1 \rho_1$. Dersom på dette punkt $Y_g = 0$ er det bare væske som strømmer og volumstrømmen er gitt av den først anslåtte v_{1s} . Dersom imidlertid y_g har positiv verdi får man en annen anslått verdi av gasshastighet fra glidningsforholdene:

$$v_g = v_b Y_1^k + c_0 (v_{1s} + v_{gs}) \quad (6)$$

hvor:

$$v_b = C \left(\frac{\text{og}(\rho_1 - \rho_g)}{\rho_1^2} \right)^{1/4} \quad (7)$$

slik at:

$$v_{gs} = v_g y_g \quad (8)$$

Anvendes den andre anslåtte verdi for gasshastighet og den første anslåtte verdi for gassopphold kan venturi-trykkfallet igjen tolkes til å gi en andre anslått verdi av væskehastighet:

$$v_{1s} = K_{y1} \sqrt{\Delta p_v - (\rho_t - \rho_m) g h_v} \quad (9)$$

På dette punkt kan prosedyren kontrolleres for konvergens. Dersom de nå anslåtte verdier av hastigheter og opphold ligger innenfor en viss spesifisert toleranse, så er gjentagelsen avsluttet og man har fått de endelige verdier for v_{1s} ; v_{gs} og y_g . Dersom konvergens ikke er nådd gjentas prosedyren fra ligning 4. Når det gjelder væske/væske-strømmer vil ligningenes detaljer endres, men det grunnleggende tolkningsopplegg vil være det samme.

Ovenstående ligninger forutsetter at strømningsmåleren er vertikal. For å innbefatte muligheten for skråstilling må de i ligningene opptredende størrelser h_v og h_m multipliseres med $\cos \theta$ der θ er skrå- eller helningsvinkelen.

I tofasestrøm gjennom en venturi må det målte trykkfall korrigeres for det hydrostatisk bidrag fra blandingsdensiteten. Jo høyere grad av homogenitet i strømmen (dvs. jo lavere tomromsfraksjon eller lettfase-opphold) dess nærmere vil det målte trykkfall svare til det teoretisk sanne trykkfall, med deravfølgende forbedring av nøyaktigheten og/eller påliteligheten av beregnet volumstrøm. Den foretrekkes særlig dersom homogeniseringsenheten er en ikke-sperrende homogeniseringsenhet da dette gir mulighet for strømning med full boring i røret. Ved den utføringsform som er skjematisk vist som eksempel i figur 2 er en strømningsmåler omfattende et gradiomanometer 1 og en venturi 2 av den ovenfor beskrevne type anordnet i en rørlengde

nedstrøms av gradiomanometeret med en rørseksjon 8 som har en trinnvis endring i diameter fra en liten diameter d til en stor diameter D . Turbulente spenninger forårsaket av den plutselige utvidelse av strøm-tverrsnittsarealet forårsaker homogenisering av strømmen ved turbulent blanding.

Strømningsmålerne vist i figur 1 og 2 er egnet for bruk i et borehull, idet den lille diameter d er tilpasset størrelsen av føringsrøret i borehullet. Den større diameter D kan være bare 10% større enn den mindre diameter d og kan opptas i borehullet. Alternativt, som skjematisk vist i figur 3, kan venturien omfatte endring fra en stor diameter til et minimum og deretter tilbake til den store diameter, hvilket svarer til diameteren av føringsrøret i borehullet. Ingen del av måleren har diameter større enn føringsrørets diameter.

Selv om der er en viss innsnevring av rør-tverrsnittet i utføringsformen på figur 3, er der i alle utføringsformer en uhindret kanal rett gjennom strømningsmåleren. Dersom denne er montert nede i et borehull er det fortsatt mulig å slippe verktøy gjennom strømningsmåleren for å utføre logging og andre operasjoner lengre nede.

I alle utføringsformene er gradiomanometeret vist umiddelbart oppstrøms av venturien der rørdiameteren er størst, ettersom dette innebærer at feilene på grunn av friksjons-trykkfall minimeres. Dette utelukker ikke noen annen posisjon, selv om det er ønskelig å ha gradiomanometeret så nær venturihalsen som mulig.

Et fullstendig system for oppnåelse av sanntidsverdier for V_{1s} , V_{Gs} og Y_G kan omfatte anordningen vist i figur 1, 2 eller 3 hvor givene 3, 4 og 5 avgir data til en datamaskin som er programmert til å regne ut ligningene (1) til (9). Når det gjelder en strømningsmåler nede i et borehull, kan konvensjonelle telemetri-teknikker anvendes for å forsyne en datamaskin på overflaten med utgangsdata eller til å overføre resultatdata til overflaten fra en datamaskin nede i borehullet.

TEGNFORKLARING

Symboler

C	konstant i bobleglidningsforhold
c_0	konstant i bobleglidningsforhold
d	diameter
h	avstand mellom giverpunkter 3,4,5
f	friksjonsfaktor (dimensjonsløs)
F	friksjons-korreksjonsterm (trykkenheter)
g	tyngdens akselerasjon
k	konstant i bobleglidningsforhold
K	konstant i venturiligning
N	Reynolds tall
p	trykk
v	hastighet
Y	opphold (summen av alle opphold er lik 1)
Δ	forskjell
ρ	densitet
σ	overflatespenning

Indekser

3	punkt 3 i gradiomanometer
4	punkt 4 i gradiomanometer
5	punkt 5 i gradiomanometer
b	boble i stående væske
g	gassfase
l	væskefase
m	gradiomanometer
s	overfladisk (gjennomsnitt over hele rørarealet)
t	fluid i ledningene til trykkgiveren
v	venturi

P A T E N T K R A V

1. Strømningsmåler omfattede en venturimåler i et rør, k a r a k t e r i s e r t v e d at den videre omfatter en differensialtrykk-måleinnretning med en rørformet seksjon av ensartet innvendig diameter samt midler for måling av trykkforskjellen mellom to i lengde- og vertikalretningen adskilte steder langs røreseksjonen, hvilken innretning er koplet i serie med venturimåleren i røret, idet densitetsverdi for fluidet som strømmer gjennom venturimåleren kan oppnås fra en første differensialtrykk-måling i måleinnretningen og et mål på volumstrøm kan oppnås fra densitetsverdien og en andre differensialtrykk-måling i venturimåleren.
2. Strømningsmåler ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter tre trykkgivere som er anordnet med innbyrdes avstand langs røret slik at den første differensialtrykk-måling oppnås fra en felles giver av giverne mellom de to målere og en annen av giverne, mens den andre differensialtrykk-måling kan oppnås fra den felles giver av giverne mellom de to målere og den tredje av giverne.
3. Strømningsmåler ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at den er koplet i serie med en oppstrøms beliggende strømnings-homogeniseringsinnretning.
4. Strømningsmåler ifølge krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at homogeniseringsinnretningen er en ikke-sperrende homogeniseringsinnretning bestående av en røreseksjon som har en brå endring i tverrsnitt for å skape turbulens.
5. Fremgangsmåte for måling av volumstrømmen til et tofasefluid som omfatter en lettere og en tyngre fase, under anvendelse av en venturimåler og en differensialtrykk-måleinnretning som innbefatter en rørformet seksjon av ensartet innvendig diameter samt midler for måling av trykkforskjellen mellom to i lengdeog vertikalretningen adskilte steder i røreseksjonen,

k a r a k t e r i s e r t v e d at venturimåleren koples i serie med differensialtrykkmåleren, samt ved følgende trinn:

- a) måling av et første differensialtrykk ved hjelp av måleinnretningen;
- b) måling av et andre differensialtrykk i venturimåleren;
- c) beregning av en anslått verdi av den midlere strømningsdensitet på basis av den første differensialtrykkmåling;
- d) beregning av en anslått verdi av volumstrømmen til den tyngre fase på basis av det andre differensialtrykk;
- e) korrigeringsverdi av den anslåtte verdi av den midlere strømningsdensitet for friksjonstap mellom fluidet og måleinnretningen fra det andre differensialtrykk som måles i venturimåleren; og
- f) korrigeringsverdi av den anslåtte verdi av volumstrømmen til den tyngre fase for hastighetsforskjeller mellom komponentfasene i tofase-fluidet fra det første differensialtrykk som måles i måleinnretningen.

6. Fremgangsmåte ifølge krav 5, k a r a k t e r i s e r t v e d at korrigeringsstrinnene omfatter:

- a) beregning av andelen av den lettere fase i tofase-fluidet fra den anslåtte verdi av den midlere strømningsdensitet;
- b) beregning av volumstrømmen til den lettere fase fra et forutbestemt hastighetsforskjell-forhold ved tofase-fluidets komponentfaser og i samsvar med den beregnede andel ifølge trinn a);
- c) beregning av friksjonskomponenten til trykkfallet i måleinnretningen under anvendelse av den under trinn b) beregnede volumstrøm;
- d) beregning av en korrigert verdi av den midlere strømningsdensitet og nevnte andel av den lettere fase fra det første differensialtrykk og fra friksjonskomponenten til trykkfallet i måleinnretningen; og
- e) gjentakelse av ovennevnte trinn inntil konvergens er oppnådd.

FIG. 1

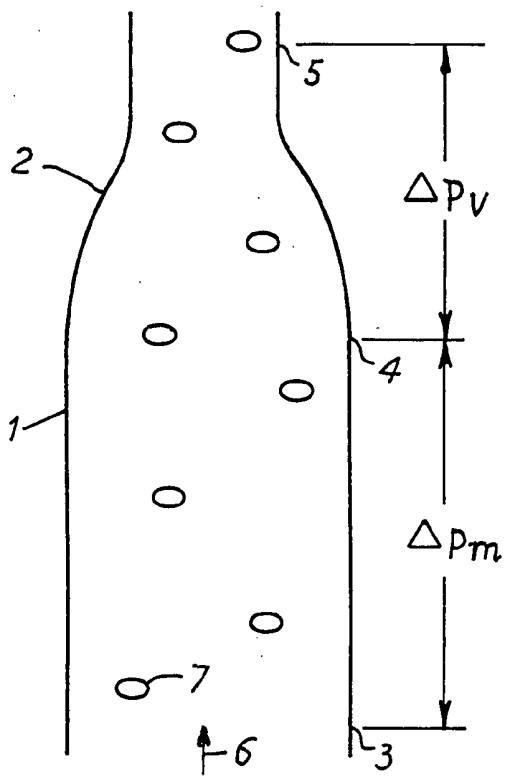
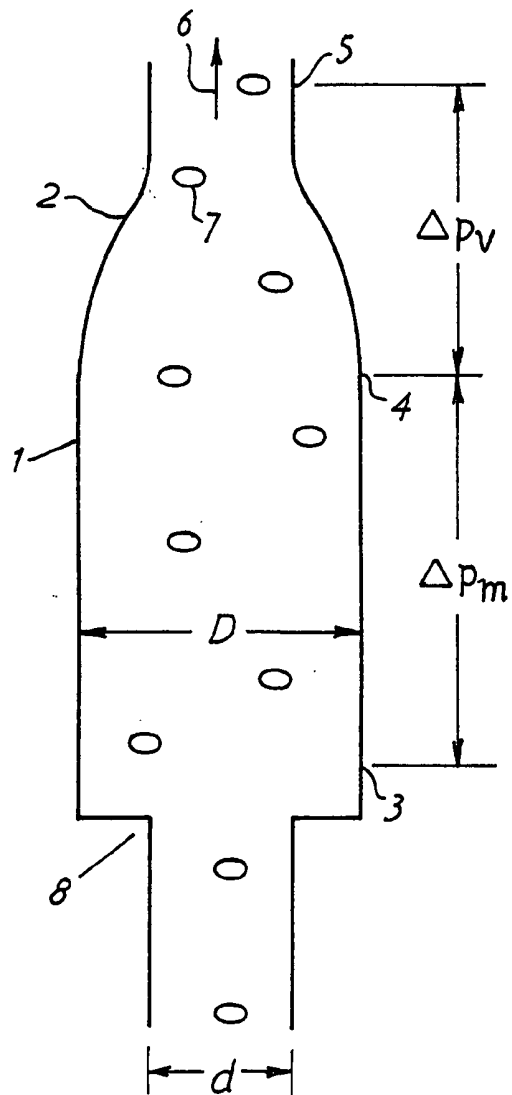


FIG. 2



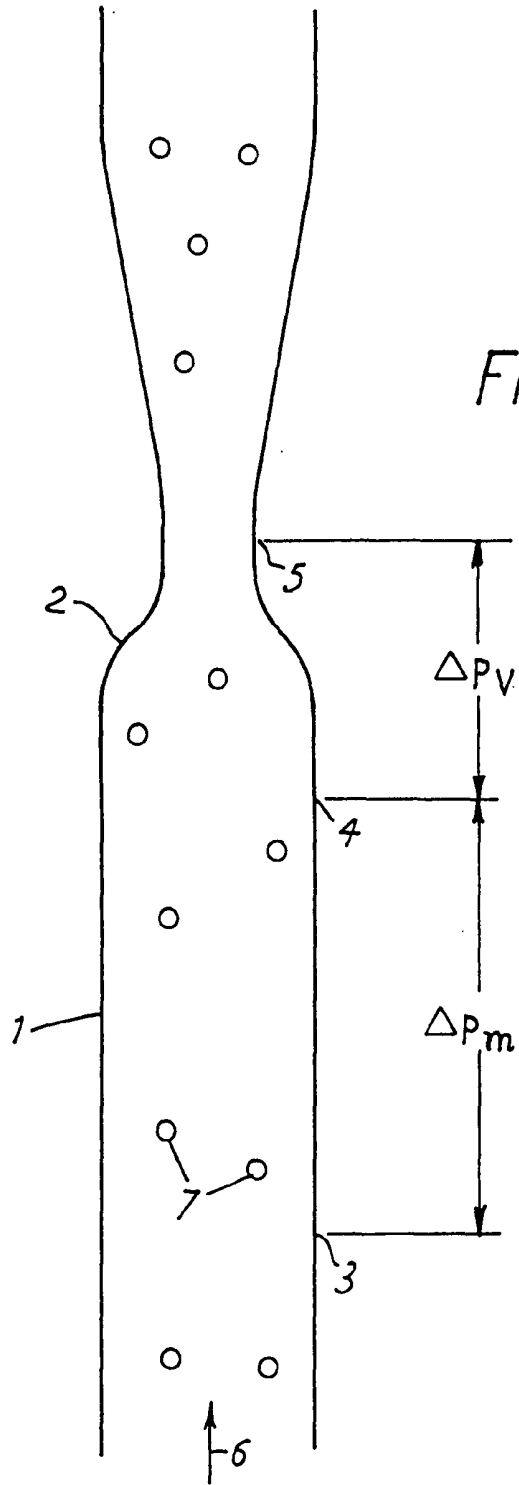


FIG. 3