



(19) **DANMARK**



(12) **FREMLÆGGESESSKRIFT** (11) **147531 B**

DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET

(21) Patentansøgning nr.: 0317/78

(51) Int.Cl.³: **G 01 F 1/66**
G 01 P 5/00

(22) Indleveringsdag: 23 jan 1978

(41) Alm. tilgængelig: 29 jul 1978

(44) Fremlagt: 17 sep 1984

(86) International ansøgning nr.: –

(30) Prioritet: 28 jan 1977 DE 2703439

(71) Ansøger: *DANFOSS A/S; 6430 Nordborg, DK.

(72) Opfinder: Mogens Terp *Paulsen; DK, Bertel *Birker; DK.

(74) Fuldmægtig: –

(54) **Apparat til måling af gennemstrømningsmængden eller den tilhørende parameter i en væske, som med fri væskeoverflade strømmer i en kanal, med to ultralydformere**

DN 147531 B

Opfindelsen angår et apparat til måling af gennemstrømningsmængden eller en den tilhørende parameter, såsom væskedybde og middelstrømningshastighed, i en væske, som med fri væskeoverflade strømmer i en kanal, med to skiftevis som sender og modtager arbejdende ultralydomformere, som i et plan har en fast afstand fra hinanden og mellem sig danner en målestrækning, der har en komponent i strømningsretningen, med et målekredsløb, som konstaterer ultralydbølgernes løbetider i begge retninger, hvorhos differencen af løbetidernes reciproke værdier er et mål for middelstrømningshastigheden, samt et udnyttelseskredsløb, som under hensyntagen til disse løbetider afgiver de ønskede værdier.

Så længe der strømmer væske gennem et rør og udfylder dets samlede tværsnit, er det til måling af gennemstrømningsmængden tilstrækkeligt at konstatere middelstrømningshastigheden. Hertil er det kendt at anbringe to ultralydomformere på overfor hinanden liggende sider af røret og forskudt i forhold til hinanden i strømningsretning, at lade dem arbejde skiftevis som sender og modtager og konstatere medstrømsløbetiderne og modstrømsløbetiderne. Middelstrømningshastigheden er da proportional med differencen mellem de to løbetiders reciproke værdier. Herved kan målestrækningerne ligge i horisontale eller vertikale plan. For i større udstrækning at kunne tage hensyn til hastighedsfordelingen i røret kan

der også være anbragt flere parallelt ved siden af hinanden liggende målestrækninger, hvis resultater kan opsummeres under hensyntagen til forudbestemte vægtfaktorer.

5 Dette princip kan også anvendes ved åbne kanaler eller rør, som ikke er fuldstændig fyldt med væske, således at der fremkommer en fri væskeoverflade. Den nøjagtige gennemstrømningsmåling forudsætter imidlertid, at væskeoverfladens højde ikke ændres. Ved en kendt åben kanal, ved hvilken der er anbragt fire målestrækninger over hinanden, vil ganske
10 vist ved en sækning af væskeoverfladen den til enhver tid fritliggende målestrækning blive uvirksom; men dette giver ikke en nøjagtig måling af væskedybden, som er nødvendig for tværsnitsberegningen.

15 Det er endvidere kendt at måle påfyldningshøjden i en væskefyldt beholder ved, at der på bunden af beholderen er anbragt en ultralydform, som udsender et ultralydsignal og efter refleksion på væskeoverfladen atter modtager det, hvorved dette signals løbetid kan konstateres.

20 Det er formålet med opfindelsen at angive et apparat af den i indledningen angivne art, ved hvilken væsken med fri væskeoverflade strømmer i en åben eller lukket kanal, som kun behøver én målestrækning, og ved hjælp af hvilken man, på trods af at væskeoverfladen ændrer højde, ikke blot kan måle middelstrømningshastigheden, men også væskedybden, til
25 sammen altså gennemstrømningsmængden.

Dette opnås ifølge opfindelsen ved, at målestrækningen desuden har en komponent i vertikalretning og indeholder en træfningsflade (væskeoverflade, ultralydform) for ultralydbølgerne, som følger ændringerne i væskeoverfladens
30 højde, således at målestrækningens hældningsvinkel ændrer sig med væskeoverfladen, og at udnyttelseskredsløbet ud fra summen af de to løbetiders reciprokke værdier beregner et

mål for hældningsvinklen, hvoraf væskedybden kan bestemmes, hvilket mål yderligere anvendes til korrektion af beregningen for uønskede bidrag fra variationer i hældningsvinklen.

5 Ved denne måleanordning ændres længden af målestrækningen og dennes hældning. Dermed ændres også de to løbetider. Gennem hensyntagen til summen af de to løbetiders reciprokke værdier kan man imidlertid danne en funktion af henholdsvis hældningsvinklen og længden af målestrækningen, ved hjælp af hvilken man på den ene side kan korrigere målingen af middelstrømningshastigheden og på den anden side også kan give væskedybden. 10 Kender man imidlertid middelstrømningshastigheden og det af væskedybden afhængige tværsnit af den fyldte kanaldel, kan man beregne gennemstrømningsmængden med stor nøjagtighed.

Formålstjenligt forløber målestrækningen i et lodret plan, 15 som i forhold til strømningsretningen har en vinkel på mindre end 45° .

Fortrinsvis skal planet være tilnærmelsesvis parallelt med strømningsretningen. Jo mindre vinklen er, jo større er forskellen mellem løbetiderne og jo mere nøjagtigt er målere- 20 sultatet.

Ved en udførelsesform er den ene ultralydform anbragt på en kanalvæg, og den anden ultralydformer flyder på væsken, men er fastgjort i horisontal retning. Især kan den flydende ultralydform være lejret i en vertikal føring. Herved 25 består målestrækningen af et enkelt retliniet afsnit, som ændrer sin hældning i afhængighed af væskestanden.

Ved en anden udførelsesform er begge ultralydformere anbragt på kanalvægge og rettet således, at lydbølgen inden for målestrækningen reflekteres af væskeoverfladen. På denne 30 måde fremkommer der længere målestrækninger uden større omkostninger.

Det har vist sig gunstigt, at den eller de på kanalvæggen anbragte ultralydformere er anbragt en smule over den dybeste kanalbund. På denne måde påvirkes ultralydformernes funktion ikke af smudsaflejringer, som ofte ikke kan undgås ved åbne kanaler. Fx kan ultralydformerne være anbragt i skrå sidevægge i kanalen.

De to ultralydformere kan især være forenet til en byggeenhed, som kan anbringes i kanalen. Dette muliggør den senere indbygning. Desuden er afstanden mellem omformerne nøje defineret. Byggeenheden bør være udformet som strømningsgunstigt formet legeme. Den kan også være lagt på bunden af kanalen. De således opad visende, noget over kanalbunden anbragte ultralydformere er derved praktisk talt ikke udsat for nogen tilsmudsningsrisiko.

Endvidere er det gunstigt, at hver ultralydformer udsender en lydkegle, hvis åbningsvinkel er valgt så stor, at den anden ultralydformer ved højdeændringer i væskeoverfladen i det forudbestemte arbejdsområde bliver indenfor keglefladen. Det er da heller ikke nødvendigt, at man efterstiller ultralydformernes aktive flader målestrækningens hældning; de på kanalvæggene anbragte ultralydformere kan være fast indbygget.

Som det senere bliver nærmere forklaret, er hældningsvinklens funktion fortrinsvis en cosinusfunktion. Dette betyder, at udnyttelseskoblingen i det enkleste tilfælde, nemlig ved en målestrækning, som forløber i et med strømningsretningen parallelt plan, giver middelstrømningshastigheden v ved en given projektion L af den halve målestrækning i strømningsretningen og ved given lydhastighed c udfra medstrømsløbetiden t_1 og modstrømsløbetiden t_2 ifølge ligningen

$$v = \frac{c^2}{L} \cdot \frac{(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2})}{(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2})^2}$$

og den oven over en ultralydformet tilstedeværende væskedybde D ifølge ligningen

$$D = \sqrt{\frac{c^2}{(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2})^2} - L^2}$$

- 5 Hvis målestrækningen ligger i et i forhold til strømningsretningen skråt forløbende plan, så må der også tages hensyn til cosinus af vinklen mellem dette plan og strømningsretningen.

- 10 Opfindelsen beskrives nærmere nedenfor under henvisning til et på tegningen skematisk vist udførelseseksempel, der viser i

fig. 1 et længdesnit gennem en kanal med måleanordningen ifølge opfindelsen,

fig. 2 et tværsnit gennem kanalen,

- 15 fig. 3 et billede forfra af kanalen,

fig. 4 et skematisk blokdiagram,

fig. 5 et tværsnit gennem en anden udførelsesform,

fig. 6 et billede forfra af udførelsesformen i fig. 5,

fig. 7 et tværsnit gennem en yderligere udførelsesform og

fig. 8 et billede forfra af udførelsesformen ifølge fig. 7.

5 En kanal med en bundvæg eller bund 2 og to sidevægge 3 og 4 er til en overflade 5 fyldt med væske 6. Væskedybden D kan svinge indenfor et område ΔD . Det væskefyldte tværsnit af kanalen 1 er en funktion af væskedybden D . Væsken har en middelhastighed v . Gennemstrømningsmængden Q beregnes af produktet af middelhastigheden og væsketværsnittet.

10 I bunden 2 er der anbragt to ultralydformere 7 og 8, som mellem sig definerer en ultralyd-målestrækning 9, som består af to retliniede afsnit 9a og 9b. Lydbølgerne reflekteres i et punkt 10 på væskeoverfladen 5. Afstanden mellem de to ultralydformere 7 og 8 i strømningsretningen andrager $2L$.
15 Længden L er derfor lig med projektionen af den halve målestrækning på strømningsretningen. Målestrækningen forløber i et vertikalt plan, her i kanalens midterplan, hvorved afsnittene står i en hældningsvinkel Θ til det horisontale plan. Den fra hver ultralydformer afgivne lyd afstråles i kegleform, der har en sådan åbningsvinkel, at indenfor væskeoverfladens 5 højdeændringsområde ΔD ligger den anden omformer altid i denne kegles reflektionsrum. Dette har igen til
20 følge, at hældningsvinklen Θ af den virksomme målestrækning ændrer sig i afhængighed af væskeoverfladens 5 højde. Dette er vist i figur 1 for det tilfælde, at ultralydformeren 7 tjener som sender og ultralydformeren 8 som modtager. Omvendt gælder det samme.

De to ultralydformere 7 og 8 styres skiftevis som sender og modtager, således at lydsignalet skiftevis løber med og
30 mod strømmen. Herved måles ved hjælp af et målekredsløb 12 en medstrømsmåletid t_1 og en modstrømsmåletid t_2 . Ud fra disse to tider og andre parametre, såsom længden L , lydhastig-

heden c i væsken og tværsnitsformen af kanalen 1, frembringes mindst tre fysiske størrelser, nemlig på udgangen 14 væskedybden D , på udgangen 15 middelstrømningshastigheden v og på udgangen 16 gennemstrømningsmængden Q .

5 Af figur 1 ses, at

$$t_1 (c + v \cdot \cos \Theta) = \frac{2L}{\cos \Theta} \quad (1)$$

$$t_2 (c - v \cdot \cos \Theta) = \frac{2L}{\cos \Theta} \quad (2)$$

$$D = L \cdot \operatorname{tg} \Theta \quad (3)$$

Ved henholdsvis addition eller subtraktion af (1) og (2) får
10 man

$$c = \frac{L}{\cos \Theta} \cdot \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \quad (4)$$

$$v \cdot \cos \Theta = \frac{L}{\cos \Theta} \cdot \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (5)$$

Omformer man (4) og (5) og indsætter (4) i (5) fremkommer der

$$15 \quad v = \frac{c^2}{L} \cdot \frac{\left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right)}{\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right)^2} \quad (6)$$

Ved hjælp af relationen

$$\operatorname{tg} \Theta = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \Theta} - 1} \quad (7)$$

og ligningerne (3) og (4) fremkommer

$$D = \sqrt{\frac{c^2}{\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}\right)^2} - L^2} \quad (8)$$

5 Udfra dette kan man også beregne gennemstrømningsmængden i den ovennævnte form. For regnekredsene står talrige kendte muligheder til rådighed. Målekredsløbet l2 arbejder med fordel på den måde, at de reciprokke værdier af løbetiderne fremstilles som frekvenser, ved hvilke summerne og differencerne let dannes.

10 I figur 3 er der punkteret vist et alternativ, ved hvilket ultralydformere 7', 8' er anbragt i kanalens 1 vægge 3 og 4. Målestrækningen 9' står da i en vinkel β på strømningsretningen, som i udførelsesformen udgør ca. 25° . På denne måde tages der ikke blot hensyn til hastighedsforskelle i strømningshastigheden, som findes i forskellige højdelag, men der
15 tages også hensyn til de forskelle, som fremkommer fra den ene side af kanalen til den anden side. Som bekendt strømmer væsken i en kanal nær ved væggen langsommere end i midten. Ultralydformerne 7', 8' befinder sig dermed også noget
20 over bunden 2, således at deres funktionsevne ikke kan påvirkes af aflejrede smudsstoffer.

Ved denne proces må der også tages hensyn til $\cos \beta$, som over ligningen $L' = L$ forbinder projektionen L' af den halve målestrækning 9' med $\cos \beta$ af projektionen L i figur 1. Med
25 en lignende udregning som den ovenfor angivne fremkommer der da

$$v = \frac{c^2}{L} \cdot \frac{(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2})}{(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2})^2} \quad (9)$$

og

$$D = \frac{c^2 \cdot \cos^2 \beta}{(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2})^2} - L^2 \quad (10)$$

Ved udførelsesformen ifølge figurerne 5 og 6 er der anbragt en kanal 21, som har en halvkredsformet væg 22. Væsken er igen betegnet med 6 og væskeoverfladen med 5. Overfor den dybeste kanalbund er der forskudt anbragt en ultralydomformer 23 i væggen 22. En anden ultralydomformer 24 er fastgjort til en flyder 25, som kan bevæges op og ned i en vertikal føring 26. Set forfra har derfor de to ultralydomformere 23 og 24 en fast afstand fra hinanden. Målestrækningen 27 mellem de to omformere danner med det horisontale plan en hældningsvinkel θ , som igen ændrer sig med væskeoverfladens 5 højde. Arbejdsmåden ligner den ifølge udførelseseksemplet i figur 1 til 3, dog uden reflektion af lydbølgerne. Variationer er mulige i mange retninger. Fx kan målestrækningen også reflekteres på kanalvæggen eller kanalbunden. Gentagne reflektioner på væskeoverflade og kanalvæg er også mulige.

I figur 7 og 8 er der vist en byggeenhed 31, som er udformet som et legeme 32 med strømningsgunstig formet overflade, og som forener to ultralydomformere 33 og 34. Byggeenheden ligger på kanalbunden, således at målestrækningen har et reflektionspunkt på væskeoverfladen. På grund af den højere beliggenhed er omformerne i vid udstrækning beskyttet mod smudsaflejringer. Byggeenheden kan ved opfyldning med eller udformning i beton eller lignende gøres så tunge, at de på grund af vægten bibeholder deres plads. En brugbar længde for byggeenheden er fx. 0,6 m.

P A T E N T K R A V

1. Apparat til måling af gennemstrømningsmængden eller en
den tilhørende parameter, såsom væskedybde og middelstrøm-
ningshastighed, i en væske, som med fri væskeoverflade
strømmer i en kanal, med to skiftevis som sender og
5 modtager arbejdende ultralydformere, som i et plan
har en fast afstand fra hinanden og mellem sig danner
en målestrækning, der har en komponent i strømningsret-
ningen, med et målekredsløb, som konstaterer ultralydbøl-
gernes løbetider i begge retninger, hvorhos differencen
10 af løbetidernes reciprokke værdier er et mål for mid-
delstrømningshastigheden, samt et udnyttelseskredsløb,
som under hensyntagen til disse løbetider afgiver de
ønskede værdier, k e n d e t e g n e t v e d, at
målestrækningen (9, 9', 27) desuden har en komponent i
15 vertikalretning og indeholder en træfningsflade (væske-
overflade 5, ultralydformere 24) for ultralydbølgerne,
som følger ændringerne i væskeoverfladens højde, således
at målestrækningens hældningsvinkel ændrer sig med
væskeoverfladen, og at udnyttelseskredsløbet (13) ud
20 fra summen af de to løbetiders (t_1 , t_2) reciprokke
værdier beregner et mål for hældningsvinklen ($\ominus$),
hvoraf væskedybden kan bestemmes, hvilket mål yderligere
anvendes til korrektion af beregningen for uønskede
bidrag fra variationer i hældningsvinklen.
- 25 2. Apparat ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t v e d, at
målestrækningen (9, 9', 27) forløber i et lodret plan,
som i forhold til strømningsretningen har en vinkel
(β) på mindre end 45° .
- 30 3. Apparat ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t v e d, at
målestrækningen (9) forløber i et lodret plan, som er
tilnærmelsesvis parallelt med strømningsretningen.

4. Apparat ifølge krav 1 til 3, k e n d e t e g n e t v e d, at den ene ultralydomformer (23) er anbragt på en kanalvæg (22), og den anden ultralydomformer (24) flyder på væsken, men er fastgjort i horisontal retning.
- 5 5. Apparat ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t v e d, at den flydende ultralydomformer (24) er lejret i en vertikal føring (26).
6. Apparat ifølge krav 1 til 3, k e n d e t e g n e t v e d, at begge ultralydomformere (7, 8; 7', 8') er anbragt på kanalvægge (2, 3, 4) og er rettet således, at lydbølgen inden for målestrækningen reflekteres af væskeoverfladen (5).
- 10 7. Apparat ifølge et af kravene 1 til 6, k e n d e t e g n e t v e d, at den eller de på kanalvæggen anbragte ultralydomformere (7', 8'; 23) er anbragt en smule over den dybeste kanalbund.
- 15 8. Apparat ifølge et af kravene 1-3 og 6, k e n d e t e g n e t v e d, at de to ultralydomformere (33, 34) er forenet til en byggeenhed (31), som kan anbringes i kanalen.
- 20 9. Apparat ifølge krav 8, k e n d e t e g n e t v e d, at byggeenheden (31) er udformet som et strømningsgunstigt formet legeme (32).
10. Apparat ifølge krav 8 eller 9, k e n d e t e g n e t v e d, at byggeenheden (31) er lagt på bunden af kanalen.
- 25 11. Apparat ifølge et af kravene 1 til 10, k e n d e t e g n e t v e d, at hver ultralydomformer (7, 8) udsender en lydkegle (11), hvis åbningsvinkel (α) er valgt så stor, at den anden ultralydomformer ved højdeændringer

i væskeoverfladen (5) i det forudbestemte arbejdsområde
bliver indenfor keglefladen.

Fremdragne publikationer:

