



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **305624**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ G 01 F 1/66

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19922336	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	13.12.1990, PCT/EP90/02180
(22) Inng. dag	12.06.1992	(85) Videreføringssdag	12.06.1992
(24) Løpedag	13.12.1990	(30) Prioritet	15.12.1989, DE, 3941546
(41) Alm. tilgj.	12.06.1992		
(45) Meddelt dato	28.06.1999		

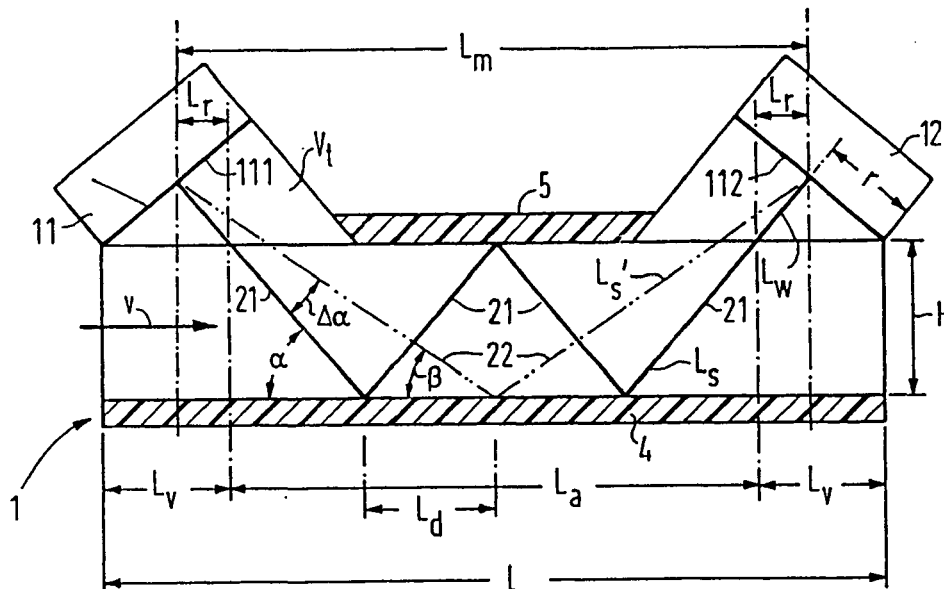
(73) Patenthaver	Siemens AG, D-80312 München, DE
(72) Oppfinner	Winfried Russwurm, Regensburg, DE Alexander von Jena, München, DE
(74) Fullmektig	Onsagers Patentkontor - Defensor AS, 0103 Oslo

(54) **Benevnelse** **Ultralyd-gass/væske-strømningsmåler**

(56) **Anførte publikasjoner** Ingen

(57) **Sammendrag**

En ultralyd-gass/væskestrømningsmåler med målerør (1) med rektangulært tverrsnitt er spesielt egnet til bruk som en husholdningsgassmåler.



Oppfinnelsen angår en ultralyd-strømningsmåler som angitt i innledningen av krav 1.

5 Det er kjent ultralyd-strømningsmålere på rørform hvor man i det indre av røret lar ultralyd i en tynn stråle gå gjennom et i forhold til det indre av røret vesentlig større tverrsnitt av mediet på skrå av henholdsvis strømningsaksen eller røraksen gjennom den deri henholdsvis strømmende gass eller den strømmende væske, for å kunne måle den gangtids-ændring for ultralyden som følger av strømningshastigheten. Med den således bestemte verdi for strømningshastigheten kan de av rørtverrsnittet og i og for seg kjente 10 korrekturparametre beregnes den pr. tidsenhet gjennomstrømmende mengde henholdsvis av gass eller væske. For å få en mest mulig lang, aktiv ultralydvei L_a i det strømmende medium, men allikevel komme ut med en teknisk meningsfylt lengde på strømningsmåleren, har man i det indre av røret anordnet flere reflekterte ultralydveier som står på skrå til røraksen og særlig 15 har "W"-form. Fra en i rørveggen anordnet sendeomformer blir ultralyd-omformereren rettet skrått til røraksen mot den motsatte rørvegg, der reflektert videre til den igjen overforliggende vegg, nok engang reflektert mot den igjen overforliggende vegg og endelig reflektert videre til mottaks-omformereren.

20 Fra Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte, bind 15 (1986), side 126-134, fig. 11, er kjent anvendelsen av et firkant-målerør med firkantet tverrsnitt $H \cdot B$ med $H:B = 2:1$ for nesten likedan å kunne bestemme den samlede strømning med ultralyd.

25 Det er vanlig å la en slik akustisk lydvei i det indre av røret avvekslende gjennomløpes i den ene og den annen retning av ultralyden, nemlig en gang i strømningsretningen og en gang mot strømningsretningen av mediet. Av det resulterende differansesignal får man den tilsvarende størrelse for bestemmelse av den volummessige gjennomstrømning av røret. Det blir tilstrebet å ha mest mulig lang gangtidsforskjell fra ultralyden i forhold til lengden av 30 strømningsmåleren, dvs. i forhold til avstanden mellom sendeomformereren og mottaksomformereren. For veien i strømningsretningen på den ene side og for veien motsatt av strømningsretningen på den annen side blir funksjonene til de to omformere som sendeomformer og som mottaksomformer innbyrdes byttet om.

En randbetingelse som som regel må overholdes, er at det f.eks. ved utforminger av røret i området av strømningsmåleren forårsakede trykkfall ikke må overskride en bestemt verdi og fortrinnsvis også lett la seg innstille.

5 På de plane veggflater av et slikt firkantør kan omformerne la seg anbringe på enkel måte og det står til rådighet overganger til det vanlige runde tverrsnitt av den øvrige rørledning.

Hensikten med den foreliggende oppfinnelse er ved en kjent strømningsmåler med firkantmålerør for et spesielt anvendelsestilfelle, nemlig for husholdningsbrenselgass og for et målområde på 5 l/h til 30 m³/h gjennomstrømningsmengde, å optimere dens funksjonssikkerhet med hensyn til dens målenøyaktighet. Denne hensikt oppnås med trekkene i krav 1.

10

Oppfinnelsen beror på den tanke at å dimensjonere tverrsnittet av den mest mulig homogene ultralydstråling i målerommet slik at det for den som fluid forhåndsgitte husholdnings-brenngass fås et størst mulig mottaks-målings-signal med optimalt gangtids-område av ultralydsignalet innenfor området av strømningshastighetene for det forhåndsgitte mengde-måleområde.

15

For de fleste av de øvrige parametre som det må tas hensyn til, har det i henhold til kravet snevre område for dimensjoneringsforholdet H:B av det firkantformede målerør med dimensjonen H = ca. 30 mm vist seg som område for optimum av separasjonen av nyttesignalet på den W-formede vei i forhold til det parasitiske signal på den V-formede vei. I stedet for det for vannet i en varmemengde-måler egnede forhold på H:B = 2:1 når man først ved 4:1 en nedre grense for området av optimum. Den øvre grense ligger ved 10:1, fortrinnsvis til og med 6:1. Spesielt ligger dimensjonsforholdet mellom 5:1 og 6:1. Slike tverrsnitt har med god jevnhet av gassgjennomstrømningen og homogenitet gunstig ultralyd-gangtider som skal registreres for hele det av det forhåndsgitte mengde-måleområde resulterende område av strømningsverdier.

20

25

Videre er det også hensikten med den foreliggende oppfinnelse å holde det opptredende signal i den V-formede vei av ultralyden lavest mulig i en strømningsmåler i henhold til oppfinnelsen for hvilken den W-formede ultralydvei mellom inngangsomformer og utgangsomformer på forhånd er gitt som målevei.

30

De etterfølgende utførelser tjener fremfor alt til ytterligere forklaring av oppfinnelsen.

Fig. 1 og 2 viser tilsammen gjengivelsen i aksialretningen av strømmingen (fig. 1) og risset av det i lengderetningen gjennomskårde rør (fig. 2). De ovenfor angitte dimensjoner for høyde og bredde av firkantrøret 1 er angitt med H og B. Sideveggene er betegnet med 2 og 3, den nedre sidevegg med 4 og den øvre sidevegg med 5. Fig. 2 har de samme henvisningstall. Omformerne 11 og 12 er plassert i den øvre sidevegg og det med henholdsvis sin sende- og mottagningsflate 111, 112 rettet skrått mot sideveggen 5 (som vist på fig. 2). På fig. 2 er vinkelen α for den W-formede ultralydvei 21 betegnet med α , nemlig med hensyn på sideveggene 4 og 5. Flatene 111 og 112 er rettet slik at stråleveien 21 treffer disse flatene loddrett. Det er imidlertid prinsipielt ikke til å unngå at en del akustisk energi også henholdsvis utstråles i en slik vinkel av flaten 111 resp. 112 eller mottas av disse flater, hvilket fører til en V-formet vei 22 i det indre av røret 1. Den V-formede vei med vinkelen beta ($= \beta$) har en annen gangtid enn den ønskede W-formede vei som på fordelaktig måte har en større akustisk veilengde i røret 1 enn hva tilfellet er for den V-formede vei.

På fig. 2 er den totale lengde av strømningsmåleren betegnet med L. De øvrige betegnelser på fig. 2 angår den i det følgende gitte fysikalske forklaring av oppfinnelsen.

For en til fig. 1 og 2 tilsvarende strømningsmåler i henhold til oppfinnelsen med tre gangers lydrefleksjon ved nedre og øvre sidevegg utgjør den virksomme strømningshastighet v_{eff}

$$v_{eff} = v^* \cos \alpha \quad (1)$$

med alfa som vinkel mellom den aksiale strømningsretning og henholdsvis utstrålings- og mottagningsretningen til omformerne 11 og 12 og med v^* som den over lydveggen minskede strømningshastighet. v^* er forbundet med den tidsmessige differensielle volumstrøm dV/dt :

$$dV/dt = v^* \cdot F \quad (2)$$

med F lik tverrsnittsflaten $H \times B$. Lengden L_s av lydveien i det bevegde medium fås som

$$L_s = \frac{(N+1) \cdot H}{\sin a} = \frac{4 H}{\sin a} \text{ for } N = 3 \text{ ("W-Anordning")} \quad (3)$$

5 med $N =$ antallet refleksjoner. Med lengden av målestrekningen L_a mellom gjennomgangspunktene til ultralyden i den (tenkte) øvre sidevegg (se også fig. 2) til det strømmende medium

$$L_a = (N+1) H \cot a = 4 H \cot a \text{ for } N = 3 \text{ ("W"-Anordning)} \quad (4)$$

følger for den oppnåelige gangtids-differanse

$$10 \quad \Delta t = \frac{2 L_s \cdot v_{eff}}{c^2} - \frac{2 L_a \cdot v^*}{c^2} = \frac{2 (N+1) \cdot H \cdot v^* \cdot \cot a}{c^2} \quad (5)$$

Fra rørinnløpet til gjennomgangspunktet (fig. 2) befinner det seg riktignok strømmende medium som imidlertid ikke registreres av ultralydstrålen.

15 Denne forsprangslengde L_v avhenger av innstrålingsvinkelen α og av radien r til omformerens uten hensyntagen til veggtykkelsen i omformerhuset som:

$$L_v = \frac{r}{\sin a} \quad (6)$$

Lydveien L_w innenfor omformerlommene er

$$L_w = r \cot a \quad (7)$$

20 Denne lydvei forårsaker ytterligere signaldemping og må derfor holdes lavest mulig.

Den ikke nyttbare andel $2L_v/L$ av total lengden $L = L_a + 2L_v$ fås som

$$25 \quad \frac{L_w}{L_a} = \frac{r}{4 H} \text{ hhv. } \frac{L_v}{L_a} = \frac{L_v}{L - 2L_v} = \frac{r}{4 H \cos a} \text{ resp.} \quad (8)$$

$$\frac{2L_v}{L} = \frac{r}{2 H \cos a + r}$$

Denne andel avhenger av innstrålingsvinkelen alfa ($= \alpha$), av omformerradien r og av høyden H til rørtverrsnittet. Jo høyere røret er og jo mindre omformerradien er, jo større er den nyttbare andel. Den nyttbare andel blir større med mindre vinkel alfa (inntil grensetilfellet for det rettlinjete gjennomstrålede målerør uten refleksjoner med alfa $= 0$ (ikke lenger noen "W"-anordning)). De likeledes for målingene ikke nyttbare volumer av omformerlommene

$$V_t = \frac{r^3}{2} \cot a \quad (9)$$

blir ved forhåndsgitt r mindre med større alfa. Dermed blir virkningen av tverrsnittsutvidelsen og -innsnevringen på turbulenser og trykktap mindre.

Ved "W"-anordningen iakttas som overlagret støysignal bidraget fra den parasittiske "V"-lydvei 22, hvilken utstråles med vinkelen delta α til normalen på omformerflatene 111, 112 ("W"-lydvei) og reflekteres en gang ($N=1$) med vinkelen beta.

Det kan fås en lokal separasjon av lydveiene. Relasjonen delta $a = a-b$ gjelder. For begge lydveier konstante er avstanden til omformer-midtpunktet L_m . For "W"-lydveien fås denne fra $L_m = L_a + 2L_r$ (fig. 1). Med relasjonen

$$L_r = r \cot a \cos a \quad (10)$$

og fra (4) fås for vinkelen delta a

$$\Delta a = - \arctan\left(\left(1 - \frac{H}{r \cos a} + 2H\right) \tan a\right) \quad (11)$$

Det betyr av ved $a \neq 0^\circ$ og $\neq 90^\circ$ fås en større delta a av en mindre r og en større a . Ved r forskjellig fra 0 og a konstant kan en større delta a fortsatt fås over høyden H . For r meget mindre enn H resp. $r=0$ kan (11) uttrykkes enklere ved

$$\Delta a = a - \arctan\left(\frac{\tan a}{2}\right) \quad (12)$$

Delta a er altså uavhengig av høyden H . Her gir rekkeutviklingen for $\arctan(x)$ og $\tan(x)$ tilnærmedelsesformelen

$$\Delta a = \frac{a}{2} - \frac{a^3}{8} \quad (\text{i buemål}) \quad (13)$$

- 5 En større delta a betyr en større undertrykkelse av "V"-signalamplituden. Følgelig skulle også innstrålingsvinkelen gjøres så stor som mulig og r meget mindre enn H være oppfylt. Avstanden til anslagspunktene

$$L_d = L_a/4 = H \cot a \quad (14)$$

- 10 skal minst være L_d større enn $2L_v$, dvs. L_a større enn $8L_v$ for å holde koinsidensen mellom de to stråleveier så lav som mulig og muliggjøre en reduksjon av "V"-amplituden med refleksjonsdempende elementer. Da L_a for det meste er fast forhåndsgitt, må det tas hensyn til en tilsvarende dimensjonering av L_v .

- 15 Også en tidsmessig separasjon av lydveiene kan oppnås.

Lengden av lydveien kan for $r = 0$ beskrives av L_s , lydveiene for "V"-grenen gjennom L'_s ved (3) og (12). Veilengde-differansen $dL = L_s - L'_s$ kan for det enkle tilfelle $r=0$ resp. r meget mindre enn H beskrives ved

$$dL = H \frac{4 - 2(3 \cos^2 a + 1)^{1/2}}{\sin a} \quad (15)$$

20

Med relasjonene $t_{auf} = L_s/(c - v_{eff})$ for "oppstrøms" og $t_{ab} = L_s/(c + v_{eff})$ for "nedstrøms" for de strømningsavhengige gangtidene kan tidsdifferansen t_d mellom ankomsten av "V"- og "W"-signalet fremstilles som

$$t_{d(auf)} = \frac{dL}{(c - v_{eff})} \quad (16)$$

25

$$t_{d(ab)} = \frac{dL}{(c + v_{eff})}$$

Jo større t_d er, jo bedre er "V"-signalet skilt i tid fra "W"-signalet, dvs. beregningsfeil ved overlagingseffekter reduseres (tidsmultipleks). Det må iakttas at ved strømming oppstrøms tiltar tiden t_d og avtar nedstrøms, slik at

følgelig også den tidsmessige separerbarhet avtar. dL skal derfor velges så stor at ved maksimalstrømning blir de to signalkomponenter fortsatt tilstrekkelig separert i tid. Større a , dvs. brattere innstråling og større høyde H , øker dL .

- 5 En ovenfor omtalt randbetingelse er det tillatelige trykktap Δp , som avhenger av målerør-geometrien som følger:

$$\Delta p \propto v^2 \cdot L \cdot \frac{U}{F} \propto \left(\frac{dV}{dt}\right)^2 \cdot L \cdot \frac{U}{F^2} \quad (17)$$

- 10 med L = lengden av målerøret og U omkretsen av den ved F beskrevne tverrsnittsflate. Dette betyr at minimalt trykkfall inntreffer ved kvadratisk (firkantet) målerør-utforming.

- Ved konstruksjon av et ultralyd-målerør etter "W"-anordningen er allment den maksimale målerør-lengde L_a , den maksimale volumrate dV/dt , det maksimale trykkfall Δp ved anvendelse av et bestemt medium og den
15 maksimale montasjehøyde H gitt på forhånd. Det skal oppnås en størst mulig Δt ved lavest mulig støypåvirkning. Fra denne maksimale effektive omformeravstand L_a (= avstanden til begge anslagspunktene av omformerstrålen ved den innvendige takflate) og den maksimale montasjehøyde H_{\max} kan innstrålingsvinkelen bestemmes:

20

$$\tan a = \frac{4H_{\max}}{L_a} \quad (18)$$

- Tverrsnittsflaten resp. bredden B av målerøret blir bestemt av trykktapet. Den blir i en enkel eksperimentell prosedyre forandret så sterkt at ved
25 maksimalstrømning fås det maksimale trykktap. Den derav resulterende tverrsnittsflate bestemmer den oppnåelige gangtids-forskjell Δt :

$$t = \frac{2L_a \cdot dV/dt}{H_{\max} \cdot B \cdot c^2} \quad (19)$$

Fra (18) og (19) fås for forholdet mellom høyden og bredden av målerøret:

$$\frac{H}{B} = \frac{F^2 \cdot \tan a \cdot c^4 \cdot \Delta t^2}{64 (dV/dt)^2} = \frac{L_a^2 \tan^2 a}{16 F} \quad (20)$$

5 Ved et langstrakt rør (L_a større enn H , L_a større enn B), vil H/B fås større/lik 2. Dette betyr et målerør med tydelig ikke-kvadratisk tverrsnitt inntil et ekstremt forhold mellom kantlengdene.

Til sammen fås således for $r =$ konstant og vinkelen alfa ($= a$) forskjellig fra 0° og 90° , dvs. strålevei med refleksjoner, og $N=3$ følgende kriterier for valg av innstrålingsvinkelen a :

- 10 En god, relativ utnyttelse av målerør-lengden (lign. 8) kan oppnås med en lavest mulig a . Et lite volum av omformerrommene (lign. 9), kortere lydvei i omformerrommene (lign. 7), større støy-avstandsvinkel (lign. 11,12,13), en god absolutt utnyttelse av målerør-lengden (lign. 6) og en god tidsmessig separasjon av lydveiene (lign. 15,16) kan fås med en størst mulig vinkel a .
- 15 Da støyavstanden, dvs. separasjonen av lydveiene, forhindring av turbulenser og en optimal absolutt utnyttelse av målerør-lengden er avgjørende for kvaliteten av målingen, skulle det i praksis velges en størst mulig alfa (f.eks. større enn 35°). Prinsipielt er alfa ved forhåndsgitt L_a i henhold til ligning 18 bare begrenset ved den av montasjemålene til røret begrensede høyde.
- 20 imidlertid viktige størrelser (se ovenfor) lar seg optimere over H , bør H gjøres så stor som mulig. Riktignok betyr H en ytterligere signaldemping ved lange lydveier L_s , men den kan imidlertid kompenseres ved tilstrekkelig høye lydnivåer.

Praktisk talleksempel:

- 25 Målerør-lengde $L_a = 150$ mm, trykkfall delta $p = 2$ mbar, maksimal volumstrøm $dV/dt = 0,00167$ m³/s, medium luft (lydhastighet $c = 340$ m/s) ved romtemperatur, $r = 5$ mm. Eksperimentelt tillate trykkfallet tverrsnittsflaten $F = 1,2$ cm². Den maksimale montasjehøyde utgjør $H = 31,5$ mm. Dermed blir innstrålingsvinkelen $a = 40^\circ$ og bredden $B = 3,8$ mm. Dette gir for forholdet
- 30 H/B verdien 8,25. Den nyttbare gangtids-differansen blir delta $t = 36$ ms. Ytterligere størrelser: støy-avstandsvinkel (med ligning 11) delta $= 16,1^\circ$, $L_v = 7,8$ mm, $L = 165,5$ mm, $2L_v/L = 0,094$, dvs. 90,6% av målerør-lengden utnyttet. Volumet av målerøret utgjør $V = 19,9$ cm³, volumet av omformer-

rommene $V_t = 2 \cdot 0,47 \text{ cm}^3$. Da $8L_v = 62 \text{ mm}$ er mindre enn $L_a = 150 \text{ mm}$, fås en god lokal selekterbarhet av lydveiene. Størrelsen dL bestemmes til $33,2 \text{ mm}$. Dermed ankommer "V"-signalet ca. 98 ms før "W"-signalet ved medium i ro.

- 5 Slik det kan ses av talleksempel, fås det et i forhold til det kjente mer ekstremt forhold H:B. Det kan imidlertid dog ses en ytterligere fordel: ved kvadratisk tverrsnitt med samme flate ville $H=B=11 \text{ mm}$ og dermed den til omformerens vendte side være bredere enn den egentlige omformer. Dette fører til en inhomogen gjennomstråling av målerommet med derav følgende
- 10 graverende målefeil. Ved et forhold H/B større enn 4 er den til omformerne vendte side betydelig smalere enn omformerne. Et målerør-tverrsnitt med ekstreme kantforhold på 4:1 til 10:1 er også i stand til å minimere den ved strømningsinnløpene og ved omformerlommene dannede eller oppstrøms dannede og til målerøret avgitte turbulenser og dermed medføre et ytterligere
- 15 bidrag til målenøyaktigheten, reproduserbarheten og signalstabiliteten hos ultralydmålemetoden.

- Med et med i henhold til oppfinnelsen dimensjonert firkantet tverrsnitt forsynt målerør 1 og med omformeranordning og -dimensjonering for homogen gjennomstråling kan pålitelige strømningsmålinger gjennomføres i
- 20 området 5 l/h til $30 \text{ m}^3/\text{h}$. F.eks. er for dette formål en dimensjonering H:B med (forhåndsgitt) 30 mm til $5\text{-}6 \text{ mm}$ passende. Ved maksimal strømningsmengde kan trykkfallet stige til inntil 25 mbar . Med en elektronisk etterkorreksjon kan en slik strømningsmåler benyttes som et nøyaktig måleapparat fra $30 \text{ m}^3/\text{h}$ sågar til 1 l/h .

25

PATENTKRAV

1. Ultralyd-gjennomstrømningsmåler med et gjennomstrømmet målerør (1) og med ultralyd-sonde-/mottakeromformere (11,12) som for en "W"-formet ultralydvei (21) med i målerøret (1) multiple refleksjoner, er plassert i avstand (L_m) fra hverandre på en og samme sidevegg (5) av målerøret (1), med et målerør (1) som med hensyn til strømningsretningen (v) har firkantformet tverrsnitt med dimensjonen ($H \cdot B$), hvor breddedimensjonen (B) er rettet hovedsakelig loddrett på ultralydveien (21) i målerøret (1) og målerøret er homogent gjennomstrålet av ultralyd, karakterisert ved at for et måleområde mellom 5 l/h og 30 m³/h av husholdnings-brenngass utgjør størrelsesforholdet $H:B = 4:1$ til $10:1$, idet størrelsen er dimensjonert $H = \text{ca. } 30 \text{ mm}$.
2. Ultralyd-strømningsmåler i henhold til krav 1, karakterisert ved et dimensjonsforhold $H:B = 4:1$ til $6:1$.
3. Ultralyd-strømningsmåler i henhold til krav 1, karakterisert ved et dimensjonsforhold $H:B = 5:1$ til $6:1$.
4. Strømningsmåler i henhold til krav 3, karakterisert ved at for et måleområde på mellom 5 l/h og 30 m³/h er størrelsen $H = \text{ca. } 30 \text{ mm}$ og størrelsen $B = 5-6 \text{ mm}$.
5. Anvendelse av en strømningsmåler i henhold til et av kravene 1-4 til mengdemåling av husholdnings-brenngass.

