

Flowmåling med Vortex-målere

Måling af gas, damp og væskeflow med samme måleprincip

Af Morten B. Jensen, Endress+Hauser

De første Vortex-flowmålere gjorde deres entre på markedet for ca. 20 år siden. Princippet er derefter blevet videreudviklet, så dagens målere er yderst pålidelige flowmålere med et bredt anvendelsesområde inden for såvel væske- som gas- og dampmåling.

Vortex-princippet stiller ingen krav til elektrisk ledningsevne i mediet, hvorfor princippet til mange opgaver inden for væskemåling er et godt supplement til den magnetisk induktive flowmåler – f.eks. til måling af opløsningsmidler eller væsker ved ekstreme temperaturer (som kryogener ned til -200°C).

Måleprincippet begrænsning ligger i evnen til at danne hvirvler efter bluff bodiet – altså en afhængighed af væskens viskositet og densitet. I praksis betyder det, at der skal være

mere fart på væsken, før hvirvlerne dannes, jo højere densitet/viskositet væsken har, eller med andre ord: flowmålerens måleområde bliver mindre, når mediet bliver tungere eller tykkere. Det kan udtrykkes ved hjælp af Reynolds-tallet, der skal være >4.000 , før hvirvlerne dannes.

Ved måling af væske er den typiske målenøjagtighed bedre end $\pm 0,75\%$ af den aktuelle måleværdi ($4.000 < R_e <$

nu i et givet område, og der opstår et lavtryk (jvf. Bernoullis ligning). Trykændringerne medfører, at mediet – eller en del af det – strømmer tilbage bagved legemet, hvorved flowmønstret krøller lidt sammen, og der dannes hvirvler. Et nærmere studie af hvirveldannelsen viser, at frekvensen, hvormed hvirvlerne opstår, er ligefrem proportional med væskens hastighed. Bag obstruktionen rives hvirvlerne væk og flyder væk i et ensartet mønster. Den indbyrdes afstand mellem hvirvlerne bestemmes af legemets udformning.

Fænomenet blev iagttaget allerede i 1912 af von Karmen. Hans eksperimenter medførte, at der blev defineret en sammenhæng mellem den indbyrdes afstand af hvirvlerne på tværs og det indskudte legemes udformning. Pga. dette arbejde har von Karman lagt navn til det konstante hvirvelmønster, der dannes bagved et bredt, indskudt legeme, idet mønsteret kaldes Von Karmans Vortex Street eller Von Karmans Vortex Tail.

Opbygning af en Vortex-flowmåler

Alle Vortex-flowmålere har en obstruktion – kaldet et »bluff body« – der sørger for, at en alternerende strøm af hvirvler dannes. Afstanden fra centret af en hvirvel til den næste kaldes bølgelængden og relateres direkte til diameteren på bluff bodiet. Sammenhængen viser sig at være meget simpel:

$$\lambda = \frac{d}{S}$$

hvor λ = bølgelængden
 S = Strouhals tal (typisk værdi 0,24)
 d = hvirvellegemets dimension

Da hastigheden af et bølgefænomen (en hvirveldannelse) er:

$$v = f * \lambda$$

hvor v = flowhastigheden
 f = frekvensen



Redundante sensorer benyttes i olieindustrien.

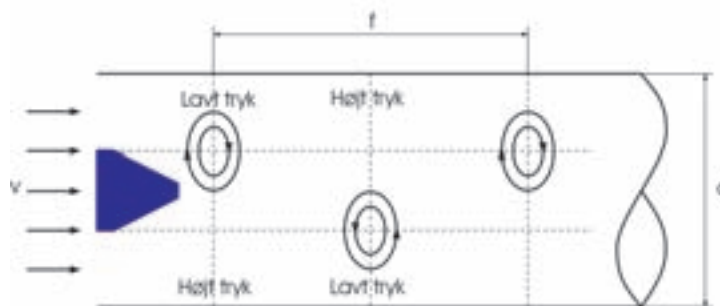
20.000 – svarende til en flowhastighed på 0,2 til 9 m/s vand), uafhængig af tryk og temperaturvariationer.

Teorien bag Vortex-princippet

Teorien er baseret på et fænomen, som vi, i vort blæsende land, kan betragte næsten hver dag, nemlig blafren af et flag. Grunden til, at flaget blafrer, er, at der er en flagstang. Ved vindens passage henover flagstangen dannes der nogle hvirvler, som forårsager, at flaget blafrer. Hvirveldannelsen kan også betragtes ved bropiller ved stærk strøm eller i vandløb bagved sten og lignende.

Det vi ser er følgende:

Ved lave flowhastigheder følger mediet legemets overflade, og der opstår ingen hvirveldannelse. På et tidspunkt, når mediets hastighed øges, kan mediet ikke længere følge legemets overflade, og det presses væk fra overfladen. Mediets hastighed øges



Figur 1. I en Vortex-flowmåler dannes skiftevis højt og lavt tryk efter bluff bodiet.

Ved at sammenholde de to ligninger med det faktum, at volumenflowet (Q) i et givet rør er lig hastigheden (v) multipliceret med rørets areal (A), fås

$$Q = v * A = f * \lambda * A = f * \frac{d}{S} * A$$

I en Vortex-flowmåler er hvirvellegemets dimensioner (d) og rørets areal (A) konstant, ligesom Strouhals tal er fastsat af legemets udformning – alle disse informationer kan samles i en konstant (K), der også kaldes målerens K -faktor (kalibreringsfaktor).

Med andre ord fortæller formlen, at volumenflowet er direkte proportionalt med frekvensen på hvirvlerne – og den grundlæggende måling i Vortex-flowmåleren er en simpel frekvenstælling (figur 1 og 2).

Vortex-flowmåleren til gas

Vortex-måleren fungerer også som gasmåler – uden anden omstilling end en justering af transmitterens forstærkning – en indstilling der normalt foretages fra fabrikken, men ellers blot drejer sig om at flytte en switch. I grundligningen for måleprincippet indgår ingen »mediedata«, hvorfor man under fabrikationen kan vådkalibrere alle målere og blot benytte en enkel elektronisk tilpasning til andre medier.

Som ved væskemåling er måleprincippet begrænsning evnen til at danne hvirvler efter bluff bodiet – altså en afhængighed af gassens viskositet og densitet. I praksis har dette ikke så stor betydning ved gasmåling, da mediet både er lettere og tyndere, men generelt gælder samme regel: En Vortex-flowmålernes måleområde bliver mindre, når mediet bliver tungere eller tykkere. Som for væsker kan dette udtrykkes vha. Reynolds-tallet, der skal være > 4.000 , for at hvirvlerne dannes – det svarer igen til en hastighed på ca. 5 m/s (luft ved omgivelsesbetingelser).

Ved måling af gasser er den typiske målenøjagtighed bedre end $\pm 1\%$ af den aktuelle måleværdi ($4.000 < R_e < 20.000$), men målingen er en volumenmåling – altså afhængig af tryk og temperaturvariationer, hvorfor det anbefales at korrigere for variationer f.eks. vha. en flowcomputer.

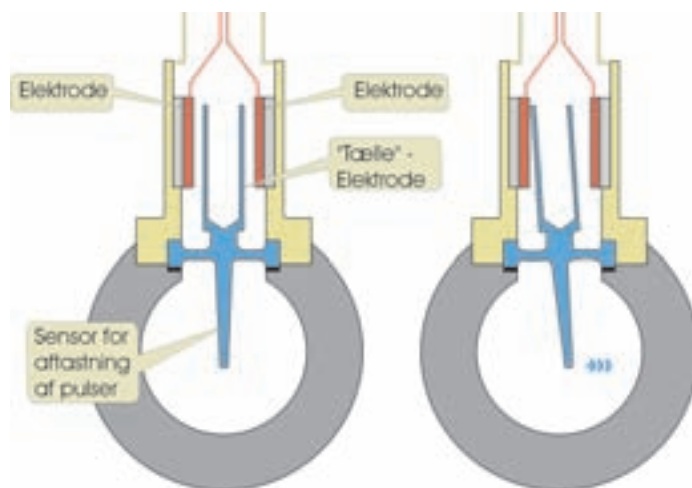
Vortex-flowmåleren til damp

I Danmark er Vortex-måleren mest udbredt til dampmåling, hvor princippet har taget over efter den mere traditionelle differensstrykmåling. En af fordelene er, at måleren ikke kræver ekstraudstyr, som afspærringsventiler eller kondenspotter, for at køre optimalt. Som ved gasmåling udnytter man, at mediedata, ikke i grundligningen og den på fabrikken foretagne vådkalibrering, tilpasses ved at stille elektronikken som ved gasmåling.

Da damp, som medie, er af en mere sammensat karakter og varierer efter tryk- og temperaturforholdene, kan man ikke opgive generelle retningslinjer, for det hastighedsområde målingen dækker – dog gælder de samme regler som for væsker, nemlig at Reynolds-tallet skal være > 4.000 , for at hvirvlerne

dannes – en dimensionering fastlægger måleområdet i den aktuelle opgave.

Dampmåling kan forventes med en typisk målenøjagtighed bedre end $\pm 1\%$ af den aktuelle måleværdi ($4.000 < R_e < 20.000$), men målingen er en volumenmåling – altså afhængig af tryk og temperaturvariationer. Det anbefales at korrigere for variationerne med en flowcomputer, hvor damptabellerne er forprogrammerede, for optimal nøjagtighed.



Figur 2. Bag målerens bluff body (obstruktionen) monteres en fane til aftastning af frekvensen. »Krøllerne« i mediet efter obstruktionen repræsenterer et relativt lavt tryk, og fanen vil derfor blive presset mod dette af det høje tryk på den anden side – frekvenstællingen er derfor en »simpel« aftastning af denne bevægelse. Hos Endress+Hauser benyttes en kapacitiv aftastning, hvor afstanden mellem de to elektroder i kondensatoren ændres i takt med bevægelsen (illustrationen overdriver bevægelsen, der typisk er i størrelsesordenen nanometer).

Ved kalibrering fastlægges sammenhængen mellem frekvens og mængde til den såkaldte K -faktor. For målere i dimensionen DN50 mm er denne størrelse typisk 6-8 pulser/liter, hvilket svarer til en maks. frekvens på ca. 150 Hz.

Vortex-flowmåleren er altså en universel flowmåler, der fortjener større udbredelse end den har i dag. Til måleopgaver med ekstreme procestryk og -temperaturer, eller blot som alternativ til mere traditionelle løsninger, giver dette måleprincip i dag så mange fordele, at det absolut bør med i overvejelserne, når nye målepunkter skal vælges.

Princippet fik et »dårligt ry« fra starten, fordi de første Vortex-målere var meget følsomme over for vibrationer. Aftastningen er som nævnt i figur 2 en frekvenstælling, hvor en »fane« bevæger sig fra side til side. Det betyder til gengæld også, at det er vigtigt, at aftastningssystemet er i balance for ikke at komme til at bevæge sig, specielt ved rystelser i 90°-planet.

E-mail-adresse
Morten B. Jensen: morten.jensen@dk.endress.com

Er din anvisning i LBA pkt. 14 anvendelig til transport?

Få svar på www.trotters.dk

trotters
- sikkerhed for mennesker og miljø!