

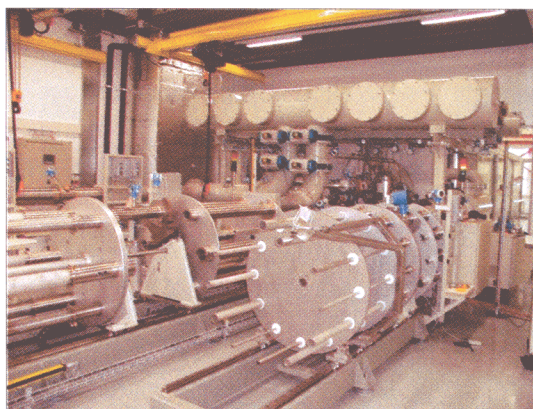
Flowmåling af gas- og luftarter

I industrien er flowmåling af gas- og luftarter lige så udbredt som flowmåling af væsker, men valg af måleprincip er langt mere traditionsbundet – også selvom der i dag findes nye og bedre måleprincipper

Af Morten B. Jensen, Endress + Hauser

Gasflowmåling er nok den disciplin inden for industriel måleteknik, der omgås med størst forsigtighed – og valg af måleprincip beror derfor oftest på tidligere erfaringer. Antallet af målepunkter er nogenlunde identisk med antallet af målepunkter inden for væskemåling, men i modsætning til væske er mere end 65% af alle nyinstallationer baseret på måleprincipper, der har mere end 30 år på bagen – på trods af at der i dag findes måleprincipper, der er enklere at installere, nøjagtigere og billigere.

Det skyldes primært de to vigtigste forskelle på de to medier, nemlig kompressibiliteten og viskositeten. Egenskaber der er medvirkende til, at man ved væskemåling kan tillade sig at »begå fejl« i installationen og alligevel opnå en korrekt måling, mens man ved flowmåling af gas straffes ubønhørligt, hvis ikke installationen er korrekt.



Hos Endress+Hauser kalibreres alle gasflowmålere på deres fabrik i Schweiz.

»Elastik i metermål«

Det første problem man støder på, når der skal måles flow i gas, er spørgsmålet om, hvilken enhed resultatet skal udlæses i. Normalt måles flow i m³/h (volumenflow), men for opvarmning af gasser gælder Gay Lussacs lov (hvis en beholder fyldt med gas opvarmes ved konstant tryk, forøges rumfanget) ligesom Boyles lov gælder ved trykændringer (hvis trykket forøges, formindskes rumfanget tilsvarende, under forudsætning af at temperaturen er den samme). Det betyder, at både tryk- og temperaturvariationer har indflydelse på volumenet – og dermed også på en flowmåling i volumenenheder.

For at »fastlåse« referencepunktet, og dermed sikre at man taler om det samme, benyttes forskellige måleenheder, hvoraf de mest almindelige er:

- m³/h - angivelse ved driftsbetingelser (aktuel m³).
- Nm³/h - angivelse ved normal betingelser (1013 mbar, 273,25 K).

- Sm³/h - angivelse ved standardbetingelser (1013 mbar, 288,25 K).
- kg/h - angivelse i mængdeenhed (masseflow).

Definerer man ikke referencepunkterne for målingen – og evt. kompenserer for variationerne – er gasmåling som at købe elastik i metermål.

Pas på med installationen

For alle flowmålinger er indbygningsforholdene afgørende for det resultat, der kan forventes af målingen, og det er vigtigt at overholde de for måleprincippet opgivne respektafstande.

Disse retningslinjer er opstillet, så andre »komponenter« før og efter målepunktet ikke kan skabe turbulens, der kan forstyrre selve målingen. En kvantitativ angivelse af, hvordan strømmingen i røret foregår, angives ved Reynolds tal, der er defineret som:

$$Re = (\rho \cdot v \cdot D) / \mu, \text{ hvor}$$

Re: Reynolds tal

ρ : produktets densitet

v: produktets lineære hastighed i målerøret

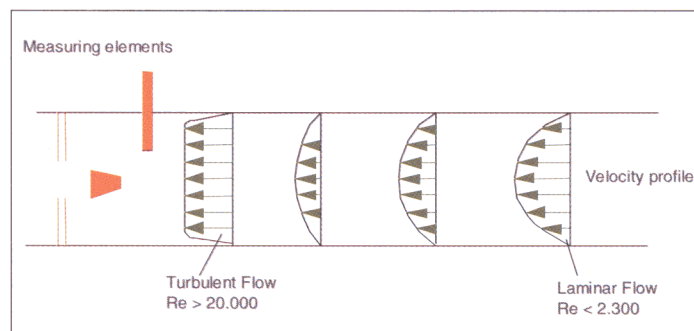
D: rørets diameter

μ : produktets dynamiske viskositet

Jo højere Reynolds tal, desto mere turbulent flow ($Re < 2.300$ er normalt laminart flow, mens $Re > 20.000$ betegnes som turbulent flow). Området mellem 2.300 og 20.000 er en gråzone, hvor man ikke har »helt« laminart eller turbulent flow (figur 1).

Ser vi nærmere på dette udtryk, kan vi forstå, hvorfor gasflowmåling er mere afhængig af installationen end væskemåling:

1. Hastigheden i rørstræk med gas er væsentlig højere end for væske (typisk 8-10 gange)



Figur 1. De forskellige måleprincipper reagerer forskelligt på ændringer i hastighedsprofilen – en måling i et punkt (som f.eks. en termisk måler) er mere følsom end en »midlende« måling (som f.eks. en måleblende).

2. Viskositeten af en gas er meget mindre end viskositeten for en væske (typisk 50 gange)

Flowmåling af gas foregår oftest i det turbulente område, og målingen er derfor mere følsom over for installationsforholdene. Inden den nye måling vælges, er det derfor vigtigt, at man vurderer installationen mod måleprincippet – og ikke blot vælger »det sædvanlige«.

Måleprincipper til gasmåling

I det efterfølgende præsenteres det mest udbredte princip (dP=differenstryk) og 3 af de nyeste principper til flowmåling af gasser:

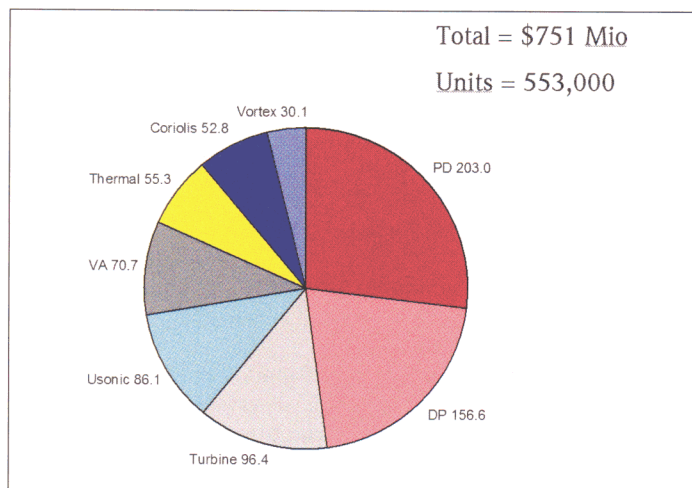
Flowmåling med differenstrykmålere

På trods af introduktionen af mange nye måleprincipper, der både er mere nøjagtige og måler over et større måleområde, er differenstrykmålere forsat meget udbredte til kontinuerlig flowmåling. De mest udbredte differenstrykmålere kendes også som:

- Måleblænder
- Venturirør/-dyser
- Pitotrør

Det grundlæggende princip for differenstrykmålere er kontinuitetsligningen og Bernoullis ligning:

- *Kontinuitetsligningen*: Det væskevolumen, der passerer tværsnit 1 i et givet tidsrum, vil også passere tværsnit 2 i samme tidsrum (idet væsken ikke kan forsvinde). Altså må hastigheden af væsken ændres, hvis tværsnittet ændres.



Figur 2. Sammenligning af de 4 måleprincipper der omtales i artiklen.

- *Bernoullis ligning*: Summen af statisk energi og hastighedsenergi er konstant i vandretliggende rør.

Samtlige målere er afhængige af det faktum, at når en væske strømmer igennem en indsnævring, så stiger væskehastigheden. Det betyder, at bevægelsesenergien stiger, hvorefter det statiske tryk falder, idet energien er konstant. Afhængigheden mellem flowhastighed og differenstryk er kvadratisk – det betyder, at opløsningen »i bunden« ikke er så god.



BIP®

- Gas revolutionen i laboratoriet



Mindre end 10 ppb oxygen og 20 ppb vand. Gasflasker med Yara's unikke »Built-In-Purifier« (BIP®) system giver den absolut højeste renhed til de mest krævende laboratorieopgaver.

• Bedre analyser

BIP® giver dig nitrogen og helium som er op til 300 gange så rent som almindelige bæregasser.

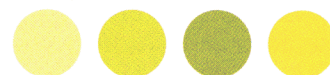
• Mindre omkostninger

Mindre mængder af oxygen og vand forlænger signifikant levetiden for kromatografi kolonner. Du sparer på genanskaffelsesprisen for kolonner og du får en mindre »downtime«.

• Det er let at skifte til BIP®

Du skal blot bestille BIP® i stedet for den sædvanlige gasflaske. Flaskestørrelse og flaskegevind er identisk med den sædvanlige gasflaske.

Yara Industrial A/S
Røde Banke 120
7000 Fredericia
Tlf. 7620 8800
www.yara.dk



Fordele

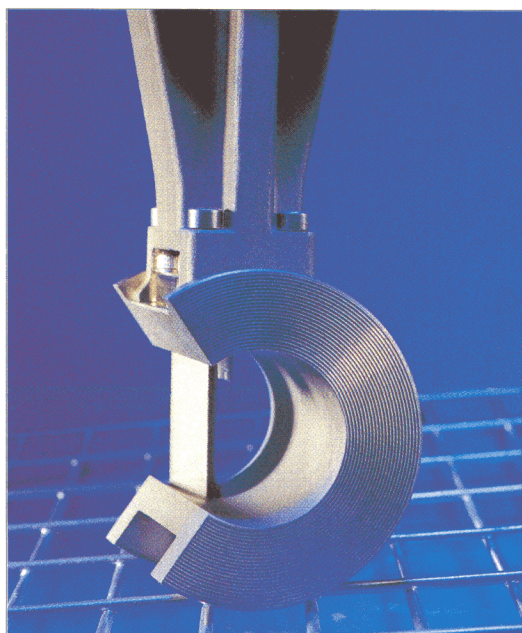
- Kan anvendes til væske, gas og damp
- Kan fremstilles i alle materialer
- Rimelig anskaffelsespris
- Enkel at installere og vedligeholde

Ulemper

- Begrænset måleområde, typisk 1:3 (1:5)
- Blivende tryktab
- Volumenmåling kræver kompensation

Flowmåling med Vortex-målere

De første Vortex-flowmålere kom på markedet for ca. 20 år siden, og princippet er efterhånden blevet videreudviklet. Dagens målere er yderst pålidelige, og de har et bredt anvendelsesområde inden for væske-, gas- og dampmåling.



Figur 3. Vortex-måleren har en restriktion (bluff body), som skaber hvirvler omkring sensoren.

Vortex-princippet stiller ingen krav til elektrisk ledningsevne i mediet, hvorfor det 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 bodied« – 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: En Vortex flowmålere måleområde bliver mindre, når mediet bliver tungere eller tykkere. Dette kan udtrykkes ved hjælp af Reynolds-tallet, der skal være >4.000 , for at hvirvlerne dannes.

Ved måling på gasser er den typiske målenøjagtighed bedre end $\pm 1\%$ af den aktuelle måleværdi, men målingen er en volumenmåling – og afhænger af tryk- og temperaturvariationer, hvorfor det anbefales at korrigere for variationer f.eks. vha. en flowcomputer.

Fordele:

- Måleområde typisk 10:1/15:1
- Samme måler anvendes til væske, damp og gas
- Stort temperaturområde, typisk -200°C til 400°C
- Enkel at installere
- Tryktabet minimalt pga. udformningen af bluff body

Ulemper:

- Holder op med at måle ved lave flow
- Volumenmåler, det skal kompenseres for tryk og temperaturvariationer

Termiske masseflowmålere

Der findes på markedet et stort udbud af flowmålere baseret på det termiske spredningsprincip, der beskriver, hvordan et opvarmet cylindrisk legeme afkøles i en gasstrøm. Ved at kontrollere opvarmningen af legemet, så der altid er en konstant differensstemperatur med en identisk udformet reference, vil den effekt, der skal benyttes til opvarmningen, være proportional med gassens masseflow.

Er målingen afhængig af gassens egenskaber, skal måleren kalibreres på det aktuelle produkt for at få en troværdig måling. Til gengæld opnås der en stor fordel, idet der ikke skal kompenseres for tryk- og temperaturændringer, da disse parametre slet ikke indgår i grundlæggningen for måleprincippet.

Fordele:

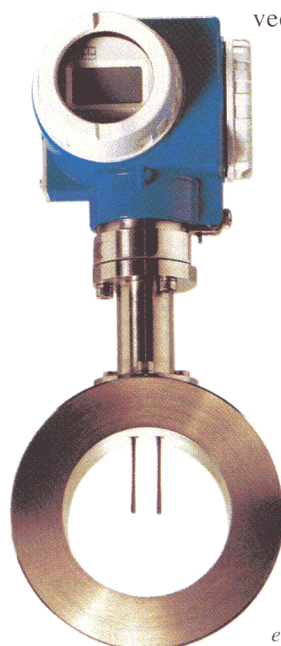
- Stort måleområde, typisk 100:1
- Tryktabet over måleren er minimalt
- Sand masseflowmåling

Ulemper

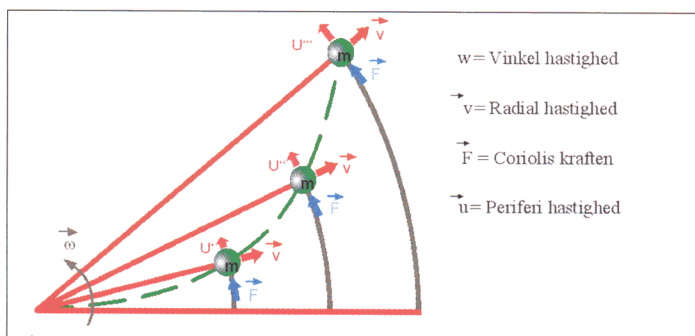
- Måling i et punkt
- Skal indstilles til den aktuelle gasart

Coriolis-masseflowmåler

Et legemes masse på jorden bestemmes normalt ved at veje det, men masse kan også bestemmes ved at måle den acceleration, som legemet påvirkes af fra en ekstern kraft. Grundlaget er Newtons 2. lov om bevægelse: »Kraft = masse x acceleration«. Når man vil måle masseflow af gas i rør, skal man derfor lave en accelerationsmåling, hvilket er forholdsvis vanskeligt. På den baggrund beregnes masseflow normalt ud fra flowhastigheden, idet der korrigeres for densitet eller tryk og temperatur. Mange forskellige måleprincipper er afprøvet i forsøget på at bestemme masseflow vha. kraft og acceleration, men kun et princip er accepteret inden for industrien til masseflowmåling. Princippet bygger på et gyrostatisk princip sammen med Coriolis-accelerationen eller Coriolis-kraften (figur 5). Coriolis-målere har vist deres store pålidelighed inden for væskemåling, og de samme fordele kan opnås ved gasmåling.



Figur 4. De to termofølere i den termiske masseflowmåler udgør kun en ringe restriktion, og måleprincippet giver derfor kun et minimalt tryktab.



Figur 5. Såfremt et legeme påvirkes af en rotation, vil Corioliskraften påvirke det, hvis det bevæger sig fra centrum mod periferien, som f.eks. på en karrusel.

Fordele:

- Direkte, inline masseflowmåling uden tryk- og temperaturkompensation
- Stor nøjagtighed, typisk 0,5% ved gasmåling
- Ingen krav til rørføring før og efter måler.

Ulemper:

- Tryktab over målestrækket.
- Maks. dimension DN250 mm

Konkurrencedygtige måleprincipper

Af denne korte beskrivelse fremgår det forhåbentlig, at der i dag er måleprincipper, som fuldt ud er konkurrencedygtige med de etablerede principper til gasflowmåling. Ja, flere af dem har endog klare fordele (f.eks. direkte masseflowmåling). Men ikke disse principper i nær fremtid vil overtage en række af de opgaver, hvor mere traditionel instrumentering hidtil har været brugt?

Det er dog ikke således, at et princip kan løse alle opgaver. Derfor er det vigtigt, at man, hver gang et nyt målepunkt skal defineres, vurderer medie, driftsbetingelser og installation for hvert enkelt princip – og dernæst træffer det endelige valg.

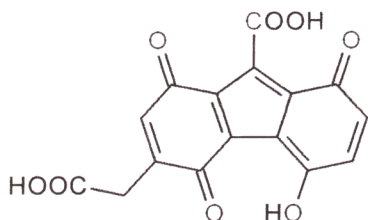
E-mail-adresse

Morten B. Jensen: morten.jensen@dk.endress.com

Nyt om...

...flodheste

Flodhestes sved er blodrødt. Hvis man iagttager en flodhest på nært hold, kan man imidlertid se, at den væske, der udskilles fra nogle kirtler i flodhestens hud, faktisk er



farveløs i begyndelsen, men bliver rød efterhånden. Det er ikke sved i gængs forstand, men det har samme funktion og hjælper til at regulere dyrets temperatur. Man mener også, at det er antiseptisk (desinficerer flodhestens hud). Man har isoleret flere forbindelser bl.a. den viste, der er ansvarlig for den røde farve. Som det ses, er det en quinon. Det japanske forskerteam, der har isoleret den, har kaldt den *hipposudoric acid*, flodhestens latinske artsnavn er *hippopotamus*.

Carl Th.

The red sweat of the hippopotamus *Nature* 2004, **429**: 363

ON THE QUALITY LINE

Gas- og proceskontrol-systemer



CheckMate
O₂/CO₂ gasanalysator
til stikprøvekontrol



ISM-3
On-line analysator til O₂
målinger i CO₂
og i inaktive gasser



MAP Check
On-line O₂ gas analysator
til industrielle processer

PBI-Dansensor fremstiller gasanalysatorer, gasmixere, permeabilitetstestere og leak detekterings systemer.

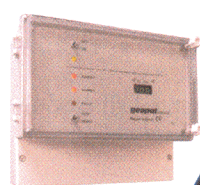
Vores styrker ligger indenfor gaskontrol og analyse i forbindelse med forskellige industrielle processer.

For yderligere information se www.pbi-dansensor.com

PBI Dansensor

PBI-Dansensor A/S · 4100 Ringsted · Tel: 57 66 00 88 · Fax: 57 66 00 99
info@pbi-dansensor.dk · www.pbi-dansensor.dk

Effektiv detektering af gasser og dampe



Væg-alarm-centraler.



Detektorer

Rack-systemer

- Eksplosive gasser
- Sundhedsskadelige dampe
- O₂ og CO₂
- Kulilte
- Arbejds miljø omkring køleanlæg

geopal SYSTEM A/S

Skelstedet 10B - DK-2950 Vedbæk
Telf. 45 67 06 00 - Fax 45 66 12 05
Hjemmeside: www.geopal.dk - E-mail: info@geopal.dk

