

Viden om ...
DAMP

Indhold

Dampteori	4
Krav ved afregning	5
Fokus på flow	6
→ Vortex	7
→ Blænde/Venturi	9
→ Midlende pitotrør	11
→ Differenstryktransmittere	14
→ Dataopsamling og visning af data	16
→ Flowcomputere	17
Sammenligning af måleprincipper og systemer	18
Opsummering	19

Dette er en af en serie af informationshæfter produceret hos Insatech - Øvrige hæfter kan ses på www.insatech.com
© Insatech A/S • Gengivelse af tekst eller uddrag af denne er tilladt med tydelig kildeangivelse.

Vil du vide mere - så kontakt ...

Kristian Nielsen
tlf. 5535 8406
kn@insatech.com



Morten Kristensen
tlf. 5535 8431
mok@insatech.com

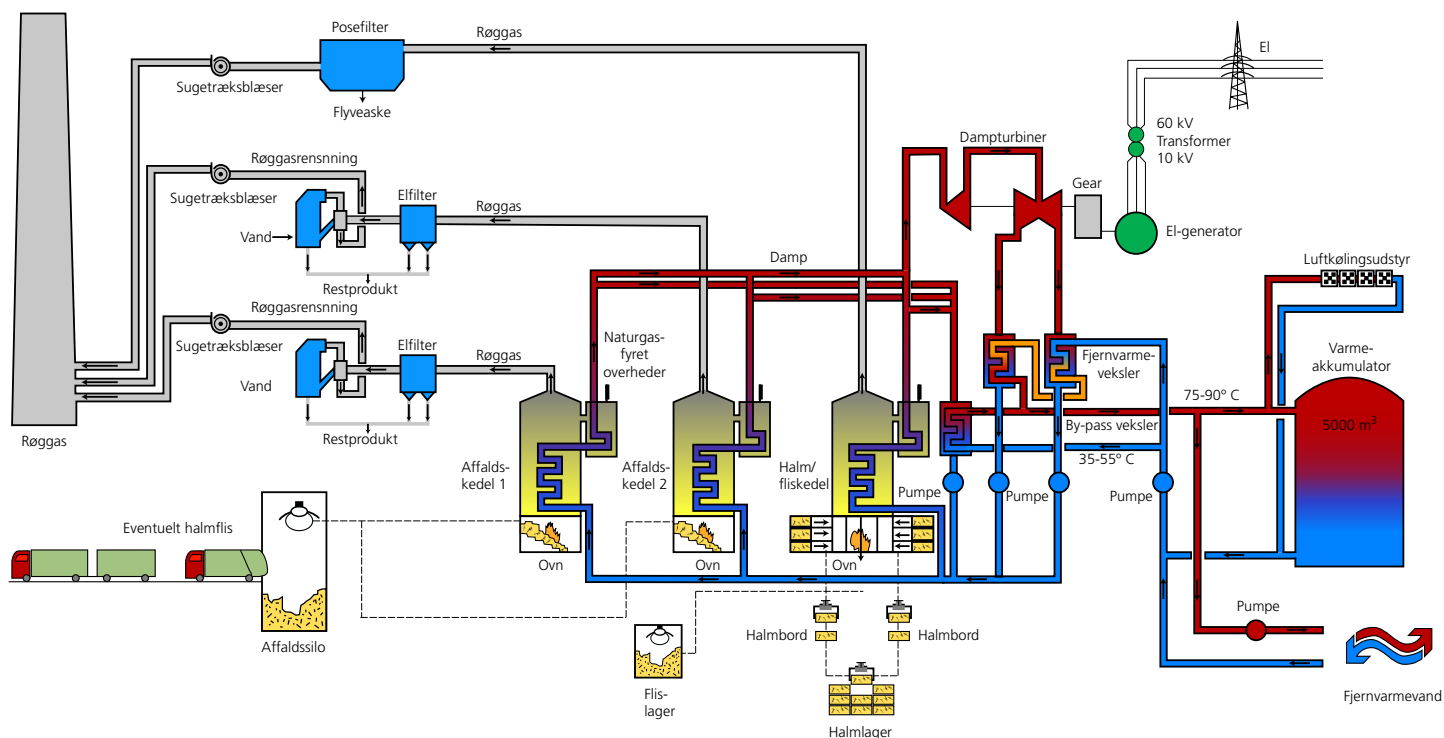


Det der er sparet, er nemmest tjent ...

Miljø, energi, CO₂, driftsøkonomiske udfordringer ved el- og varmeproduktion

Med stigende krav til miljø forbedringer, optimeret udnyttelse af energien, med deraf reduceret CO₂ udledninger, og ikke mindst stigende energiomkostninger ved køb og afregning af brændsel, er der sat fokus på optimering af eksisterende energiproducerende anlæg.

I dette informationshæfte vil vi sætte fokus på valg af instrumenter på damp siden af processen.



Applikationseksemplet her er en affaldsforbrænding, biobrændsel med en kraftvarmeverksløsning.

Den genererede damp bruges til at drive turbinen (elproduktion), hvorefter dampen kondenseres og afkøles i varmeveksler-systemet tilkoblet et fjernvarmeanlæg.

Den energibærende del er i dette tilfælde damp.

Der kan være flere perspektiver i placering af målingen for en reel afregningskvantificering, da applikationen viser en affaldsforbrænding, biobrændselsløsning med naturgasfyret overheder.

Der er differentierede afgiftsregler på den producerede energi afhængigt af de anvendte brændselstyper. Det kan således være nødvendigt at have flere delmålinger f.eks. før og/eller efter turbinen. Før turbinen ville være et oplagt styringsparameter til kedeloptimering og efterfølgende anlægsvirkningsgrad. Efter turbinen ville være afregningsmåler i forhold til det reelle varmesalg til fjernvarmenettet.

Formål

Vi vil med dette informationshæfte kun belyse damp siden af applikationen, specifikt for måling af flow og energi.

Tekniske løsninger, der anvendes i industrien i dag, er ofte dikteret af historiske "sådan har vi altid gjort", eller løsninger der er nemme at dokumentere i forhold til myndighederne (defineret i tabeller og standarder). Det er ikke nødvendigvis de mest optimale i forhold til nøjagtighed eller metode, da der indføres utilsigtede tryktab og dermed forøget energiforbrug.

Informationshæftet giver en indsigt og generel forståelse for hvordan, man måler dampbaseret flow og energi.

- Teorien bag damp og dets energiindhold, myndighedskrav til målemetode og krav til nøjagtighed for afregning og forbrug.
- Gennemgang af specifikke flowmålere og målesystemer samt fordele og ulemper ved disse.

Vi vil med fokus på målenøjagtighed, vedligeholdelse, økonomi samt målemetodens systembelastning, anvise løsninger der kan imødekomme myndighedskrav, med et minimum af energiforbrug, og dermed mulighed for at sænke de daglige driftsomkostninger.

Måling af dampbaseret flow og energi

Damp er et af de medier der bruges i de fleste industrier. Dampen anvendes direkte i processen, til turbiner, opvarmning i processen eller til rum opvarmning.

Der er derfor ofte brug for at styre, kende sine produktionsomkostninger, eller der kan være direkte lovkrav om en måling der angiver forbrug, miljøbelastninger samt en kvantificering og afregning af energi salg.

Hvordan måler man dampbaseret flow og energi?

Først lidt om damp

Når der tilføres varmeenergi til vand, vil temperaturen begynde at stige og ved en temperatur på $\sim 100^\circ\text{C}$, vil vandet begynde at koge. Denne temperatur kaldes for mætningstemperaturen (t_m). – Mætningstemperaturen er trykfafhængig dvs. stiger trykket, stiger mætningstemperaturen. Ved 1 atmosfæres tryk (1013mBar absolut) koger vand ved $99,976^\circ\text{C}$, ved et tryk på 16Bara (16Bar absolut) er kogepunktet (mætningstemperaturen) $201,4^\circ\text{C}$. Den mængde energi der skal tilføres vandet for at varme det op fra 0°C til mætningstemperaturen kaldes for væskevarmen (h) entalpi, med enheden [KJ/Kg]. – For vand ved et tryk på 16Bara er væskevarmen $h = 859\text{KJ/Kg}$.

Tilføres der yderligere energi begynder vandet at fordampe og vil have en tilstand af vand og damp (våd damp). Ved fortsat energitilførsel vil vandet gå helt på dampform (tør mættet damp). Den mængde af energi der skal tilføres 1 Kg vand ved mætningstemperaturen til tør mættet damp, kaldes fordampningsvarmen (r) med enheden [KJ/Kg]. – For vand ved et tryk på 16Bara er fordampningsvarmen $r = 1933\text{KJ/Kg}$.

Den samlede mængde energi for at få vandet fra 0°C til tør mættet damp ved 16Bara.

$$h' + r = h''$$

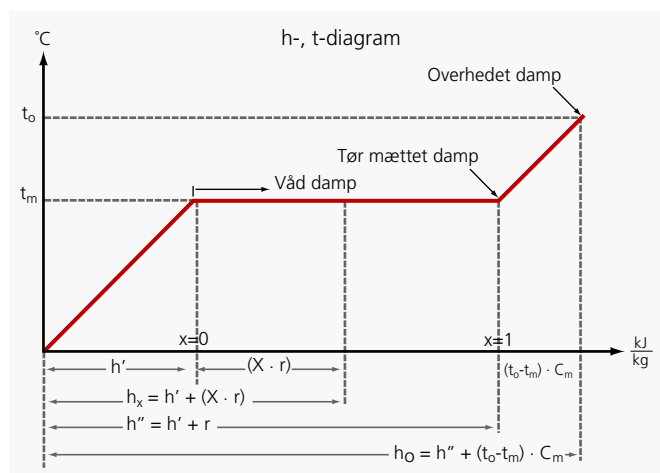
$$859\text{KJ/Kg} + 1933\text{KJ/Kg} = 2792\text{KJ/Kg}.$$

Når vandet er i en tilstand mellem mætningstemperaturen og tør mættet damp, vil der være en sammenhæng mellem tryk og temperatur. Hvis temperaturen er $201,4^\circ\text{C}$ er trykket således 16Bara jævnfør ovenstående eksempel. Denne sammenhæng kan findes ved tabel opslag i diverse damp tabeller. Desuden vil temperaturen og trykket være konstante fra mætningstemperaturen til man opnår tør mættet damp. Det eneste der ændres er energiindholdet i dampen.

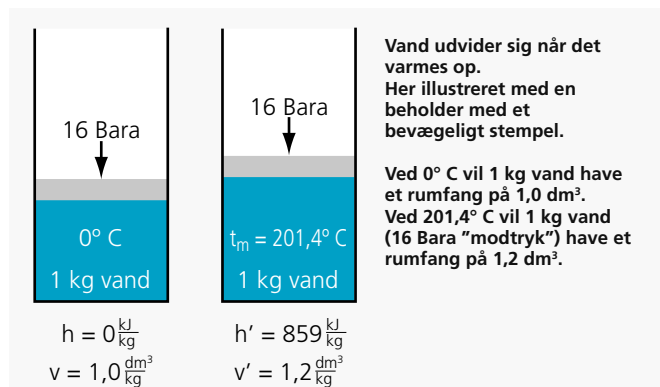
Tilføres der yderligere energi til den tørre mættede damp vil man overhede dampen. Her vil tryk og temperatur igen begynde at stige sammen med energiindholdet og sammenhængen mellem tryk og temperatur forsvinder.

Den mængde energi, der skal anvendes for at gå fra tør mættet damp til en overhede damp med temperaturen t_o , kaldes overhedningsvarmen. Overhedningsvarmen beregnes ved udtrykket $(t_o - t_m) \cdot C_m$, hvor m er middelvarmefylden.

Energiindholdet i dampen er derfor afhængig af om det er våd damp, tør mættet damp eller overhede damp, hvilket der også skal tages højde for, i forhold til måling og målemetode. Under alle omstændigheder er det nødvendigt at bestemme eksempelvis, mængden af damp pr. tidsenhed.



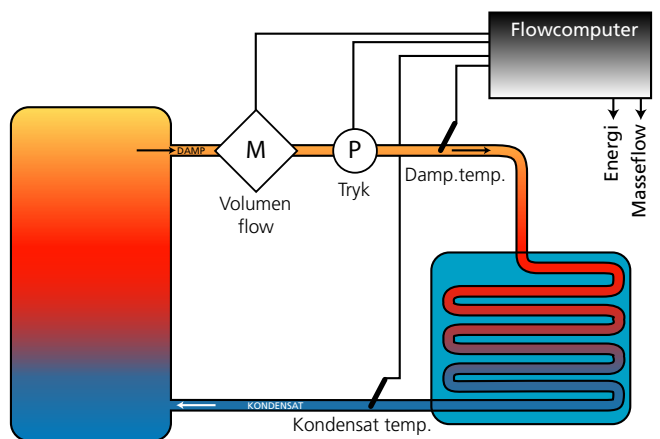
For at kunne afgøre mængden af damp og dermed energiindholdet, måles der enten masseflow f.eks. [kg/s], et energiflow f.eks. [kJ/s] eller begge dele. I begge tilfælde er det nødvendigt at foretage en volumetrisk flowmåling og derefter korrigere denne i forhold til densiteten/vægtfylden for dampen.



Ved dampmåling skelnes mellem måling på mættet og overhede damp.

Ved mættet damp er der en sammenhæng mellem tryk og temperatur, der kan derfor anvendes en mængdemåler (volumenflow) sammen med en tryk eller temperatur måling, samt en flowcomputer der kan beregne energiindholdet.

Ved overhede damp er det nødvendigt sammen med mængdemåler både at måle tryk og temperatur, da sammenhængen mellem tryk og temperatur forsvinder. Flowcomputeren skal derfor være i stand til at beregne energiindholdet i dampen under hensynstagen til både tryk og temperatur.



Krav til nøjagtigheden af målingen iht. SKAT punktafgiftsvejledning 2009-1

Kravene for målenøjagtigheden og dermed målemetoder kan være styret af interne behov i forhold til styring af processen, eller disse kan være dikteret lovmæssigt i forhold til forbrug og afregningsmålere.

Kilde: SKAT Punktafgiftsvejledninger 2009-1.

F.6.13 Krav til målere af energiforbrug

Udgangspunktet herfor er, at virksomhederne anvender målere, der har en kvalitet og nøjagtighed og upåvirkelighed, som gælder for godkendte målere.

Nedenfor er der en nærmere beskrivelse af målere og måling af forskellige energityper.

Det er derudover virksomhedens ansvar, at installerede bimålere og målere til fordeling af energiforbrug i virksomheden virker og måler rigtigt, at defekte målere straks repareres eller udskiftes. Virksomheden skal ved byggetekniske tegninger eller på anden måde kunne vise, at målerne er placeret korrekt.

Hovedreglen for måling er at man skal foretage en sand energimåling.

Energi kan tilføres et anlæg på to principielt forskellige måder, den ene er i form af direkte energikilder, den anden er i form af energibærende medier.

Energikilderne er elektricitet og de forskellige typer brændsler. Som energibærende medier vil vi her kun omtale vand og damp.

El måles med en elektricitetsmåler, der direkte angiver energien i kWh (MWh).

Energiindholdet i brændsler findes ved at måle den tilførte mængde i liter, m³, kg, ton og derefter gange med brændslets brændværdi.

Energiindholdet i et varmebærende medie bestemmes ved, at måle energiindholdet i mediet, når det tilføres anlægget og derfra trække energiindholdet i mediet når det forlader anlægget.

Kilde: SKAT Punktafgiftsvejledninger 2009-1.

F.6.13.4 Dampmålere

I de tilfælde, hvor der leveres varme (damp) fra et dampbaseret varmesforsyningsanlæg til både proces og rumvarme, uden at dampen til rumvarme går igennem en vandveksler, er det nødvendigt at installere dampmålere.

Måling af damp skal som udgangspunkt ske ved hjælp af egentlige dampmålere. Under visse betingelser kan måling af damp dog ske ved hjælp af kondensatmåling. Endvidere kan det i forbindelse med brug af dampkalorifere til opvarmning på visse betingelser tillades, at opgørelsen af varmen baseres på kaloriferens effekt og måling af kaloriferens driftstid.

Kilde: SKAT Punktafgiftsvejledninger 2009-1.

F.6.13.4 Dampmålere

Ved dampmåling skelnes mellem måling på mættet damp og overhededet damp.

Ved overhededet damp kræves der ud over måling af dampmængden også en måling af tryk og temperatur, samt en flowcomputer, der er i stand til at udregne det nøjagtige energiindhold i dampen under hensyntagen til både tryk og temperatur.

Ved mættet damp er det tilstrækkeligt at supplere mængdemåleren med enten tryk eller temperaturmåling og hvis målingen foretages i umiddelbar nærhed af kedlen, kan man nøjes med mængdemåling, blot flowcomputeren er indstillet til kedlens nominelle tryk.

Erhvervs- og Byggestyrelsen har ikke fastsat forskrifter og krav til dampmålere.

Installerede dampmålere skal have samme nøjagtighed og upåvirkelighed som varmeenergimålere.

Da Skat angiver, at de installerede dampmålere skal have samme nøjagtighed og pålidelighed som varme energimålere kan der drages en direkte parallel til kravene for Måling af varmt vand. – Det eneste sted der er angivet et specifikt krav til målenøjagtighed er i forhold til varmeenergi målere på fjernvarmeinstallationer, dvs. reelt måleren ude hos den enkelte forbruger, der skal have en unøjagtighed på mindre end 4%.

Kilde: SKAT Punktafgiftsvejledninger 2009-1.

F.6.13.1 Varmeenergimålere

En ny typegodkendt måler til afregning ved en almindelig fjernvarmeinstallation har en unøjagtighed på mindre end 4 pct.

Varmeenergimåleren består af en volumenmåler (antal m³ vand), en beregningsenhed og temperaturfølerpar (måling af afkøling mellem fremløb og returløb). Med denne kombination er det muligt forholdsvis præcist at beregne produceret eller forbrugt varmeenergi.

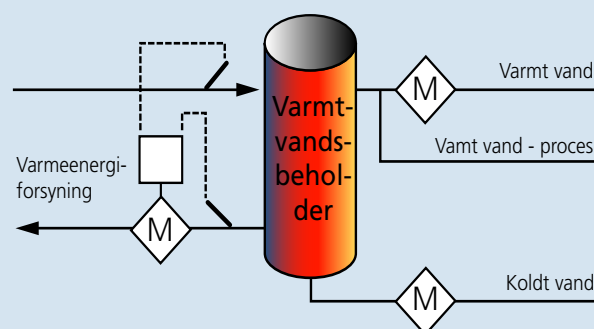
Dog angives der specifikt et krav til volumenmåler i forhold til energifordeling hvis en virksomhed eksempelvis bruger det varme vand til proces og rumopvarmning.

Kilde: SKAT Punktafgiftsvejledninger 2009-1

F.6.13.1 Måling af varmt vand

Anvendes varmt vand fra en beholder/veksler til både proces og varmt forbrugsvand, skal energiforbruget fordeles ved volumenmåling af den samlede mængde vand, der er varmet op, og den mængde vand, der er anvendt til ikke-godtgørelsesberettigede formål. Energiforbrug til opvarmning af vandet måles med varmeenergimålere.

Se nedenstående skitse.



Krav til volumenmålere er opstillet i et EF-direktiv. Erhvervs- og Boligstyrelsen opstiller krav til typegodkendelse ud fra dette direktiv, hvorefter volumenmålere har en unøjagtighed på mindre end 3 pct. Målere, der opfylder disse nøjagtighedskrav, vil kunne anvendes.

Her repræsenteres et direkte krav til volumenmålingens usikkerhed < 3%, samt en samlet måleusikkerhed < 4% for det komplette målesystem, hvilket der ud fra SKAT's generelle angivelse, "at de installerede dampmålere skal have samme nøjagtighed og pålidelighed som varme energimålere", er de retningsgivende krav til energimåling på damp.

Derfor

Til måling af energiindhold og mængde af den strømmende damp, skal der således foretages en volumetrisk flowmåling, en temperaturmåling og/eller en trykmåling. Disse tre parametre kan via en beregning (flowcomputer), kvantificere det aktuelle energisalg.

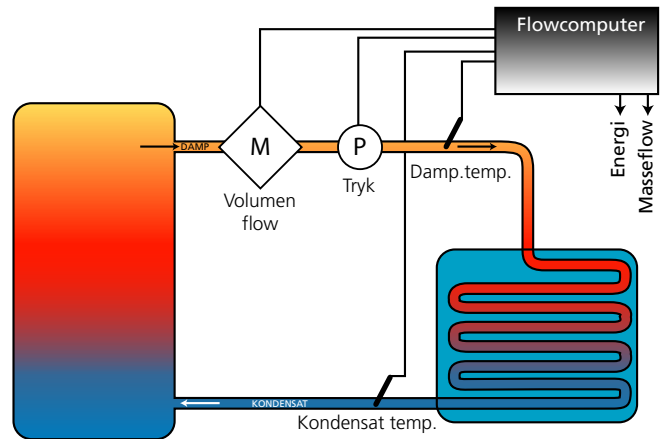
Flowmålingen angiver hvor mange volumenenheder der passerer pr. tidsenhed. Typisk angives dette i $[m^3/h]$. Problemet ved at måle volumetrisk flow er, at energiindholdet $[m^3/h]$, for damps vedkommende, er afhængig af damps sammensætning.

Dampens massefylde/sammensætning, eksempelvis, hvor mange kg damp man har pr. kubikmeter $[kg/m^3]$, er afgørende for energimængden, der overføres. Massefylden varierer med trykket og temperaturen.

Energiindholdet i den strømmende damp kan således bestemmes på baggrund af kendskab til temperatur og tryk samt de fysiske egenskaber for damp (entropie $[kJ \cdot kg \cdot K]$). – Dampens fysiske egenskaber er beskrevet i et utal af damptabeller og diagrammer.

Den faktiske energiberegning kan nu udføres. Via flowcomputeren ganges den volumetriske flowmåling $[m^3/t]$, med massefylden, derved har man et masseflow f.eks. $[kg/h]$. Massefylden

bestemmes ved interne opslagstabeller ud fra tryk og temperatur. – Hvilken enhed der skal repræsenteres på flowcomputeren er herefter kun et spørgsmål om tabeller og algoritmer ... $[kg/h]$, $[kWh]$, $[kJ/sek]$.



Fokus på flow og flowmåling

Flowmålingen er klart den mest komplekse del af målesystemet.

Flowmålingen foretages normalt umiddelbart efter kedlen, med deraf følgende høj temperatur og tryk. Dampens sammensætning /densitet er meget følsom for ændringer i temperatur og tryk, så det er ikke nok at kvantificere mængden, der passerer i røret for at aflede den afgivne energimængde. Det er derfor af afgørende betydning at disse forbehold tages i betragtning ved valg af målemetode.

Forudsætningen for at få et brugbart resultat, når man taler flowmåling, er at kende sin proces, produktsammensætning og dets fysiske egenskaber, som en funktion af tryk og temperatur. Disse parametre er af afgørende betydning for valg af instrumenter og dimensioneringen af disse. Flowet er ofte dynamisk, og det kan være af afgørende betydning for krav til instrumentering og dets opretholdelse af en given målenøjagtighed for hele det dynamiske måleområde.

Når et system dimensioneres og sættes op, er der et par ting, man skal være opmærksom på. Dimensioneres anlægget til at

køre ved f.eks. 6barg, med mulighed for at trykket kan falde til 5barg. Derfor skal man sikre sig, at flowmåleren også kan håndtere dette. Når trykket falder, falder densiteten også, dvs. dampen kommer til at fylde mere, og fastholdes det samme energiforbrug, vil hastigheden på dampen dermed stige. Det er derfor vigtigt, at flowmåleren ikke har sin maks. hastighed ved 6 barg, men også kan håndtere den øgede hastighed, som en trykændring kan forårsage.

Vi vil på de følgende sider prøve at belyse tre forskellige fysiske realiseringer af måleinstrumenter til kvantificering af flow: Vortex, måleblende og pitotrør. Hvert system har sine forbehold/forudsætninger og begrænsninger.

Med udgangspunkt i vores instrumentløsninger vil vi belyse disse forbehold/forudsætninger og begrænsninger, samt drage en konklusion for de mest optimale løsninger i forhold til et dampbaseret flow- og energimålesystem.

Vortex måleprincippet

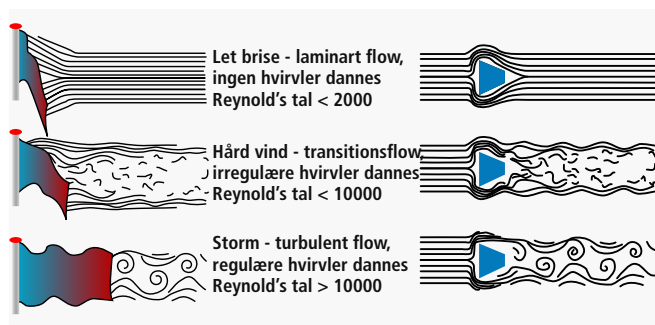
Vortex er engelsk for hvirvel, og det er netop hvirveldannelse og -detektering, der kendetegner måleprincippet.

Bag om Vortex

Måleren består af et målerør og en såkaldt shedderbar. Yokogawa har eksperimenteret med flere udformninger af shedderbaren, og er kommet frem til, at den trapezoide form giver det bedste resultat. Mediet, hvad enten det er damp, gas eller væske, rammer shedderbaren, deles og danner hvirvler skiftevis på den ene og den anden side af shedderbaren.

En hvirveldannelse er et lavtryksområde, og da der søges ligevægt, vil hvirvlen i næste øjeblik dannes på den modsatte side og vise versa. Ved turbulent strømning dannes de regulært, og afstanden mellem hver enkelt hvirvel er konstant. Frekvensen hvorved de dannes er derimod proportional med hastigheden på mediet.

For at disse Vortexhvirvler dannes, kræves det, at flowet er i det turbulente område, som defineres ud fra Reynold's tal.

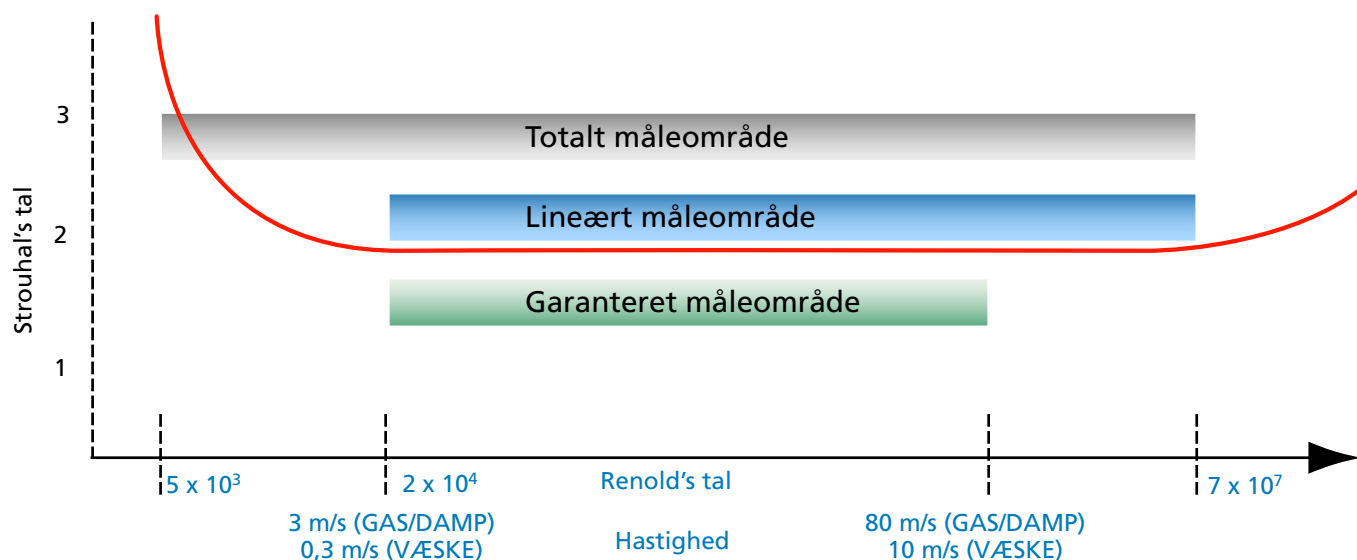


Figuren viser forholdet imellem laminart og turbulent flow ud fra Reynold's tal.

Måleområdet

Det kan derfor konkluderes, at der ikke kan måles ned til nul, da vortexmåleren kun fungerer i det turbulente område. Dette er vist i figuren herunder, hvor den nedre grænse går ved Reynold's tal 20000.

Bemærk at det i praksis heller ikke er muligt, at måle til nul med andre måleprincipper, da unøjagtigheden til sidst bliver for stor. Det er faktisk med vortexmåleren, at man får det største brugbare måleområde, også kaldet turndown.



Vortexfrekvensen "f" er proportional med hastigheden "v". Derfor er det muligt at måle flowet, ved at måle vortexfrekvensen

$$f = St \cdot (v/d)$$

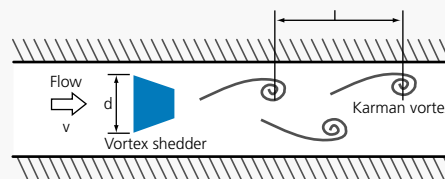
hvor : f = Vortexfrekvensen
St = Strouhals tal (konstant)
v = hastighed
d = bredde af shedderbar

Strouhal's tal er et forhold imellem vortexafstanden (l) og bredden på shedderbaren (d)

Normalt er afstanden imellem vortexhvirvlerne 6 gange bredden på shedderbaren.

Strouhals tal er den reciproke værdi (1/6 ~ 0,17).

Da Strouhal's tal er en konstant, kan hastigheden måles ved at tælle antallet af vortex hvirvler



Reynold's tal er en funktion af flowhastigheden, viskositet og rørets diameter og er et udtryk for, hvor turbulent flowet er:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

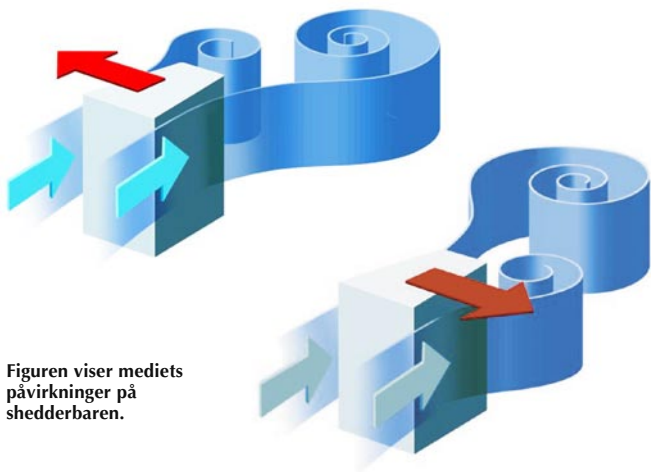
v = flowhastighed d = rørdiameter ν = viskositet

Sensorkonstruktion

Flowmængden bestemmes altså ud fra frekvensen, og til at måle denne, er der inde i shedderbaren placeret to hermetisk forseglede piezoelektriske krystaller. Yokogawas vortexmåler har ingen huller eller sensorer i den medieberørte del af shedderbaren. I stedet udnyttes det princip, at der ved hvirveldannelsen overføres en kraft og dermed moment i shedderbaren. Dette moment påvirker de piezoelektriske krystaller, som omsætter det til elektriske impulser.

Mediet danner altså vortexhvirvler skiftevis på hver sin side. Når hvirvlen dannes, accelererer mediet og jvf. Bernoullis' ligning, så falder trykket. Dette vil vride/bøje den massive shedderbar en lille smule, skiftevis fra side til side. Det er dette vrid, der måles ved hjælp af to piezoelektriske krystaller, og som er et udtryk for flowhastigheden.

Med brugen af piezoelektriske krystaller, kan der arbejdes med høje tryk og temperaturer helt op til 450°C i en adskilt version. Sensorkonstruktionen gør bla. at Yokogawas vortexmåler aldrig skal nulpunktsjusteres.

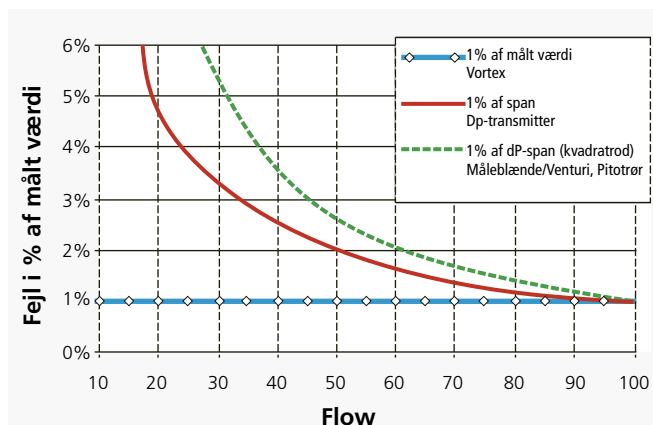


Figuren viser mediets påvirkninger på shedderbaren.

Nøjagtighed

Kigger man på nøjagtigheden af en Yokogawa Vortex måler, er det naturligvis værd at bemærke, at den potentielle usikkerhed kun er 0,75% for væsker og 1% for gas/damp. Dertil kan man så tilføje, at usikkerheden er af målt værdi og ikke span, hvilket får meget stor betydning, jo længere ned i måleområdet man bevæger sig. Figuren nedenfor viser sammenhængen imellem usikkerheder af målt værdi og af span.

Sammenligner man usikkerheder med f.eks. en blændemåling, hvor usikkerheden vises som % af span + usikkerhed for kvadratrodd, er det tydeligt, at forskellen til Vortex måleren er stor.



Figuren viser forskellen imellem usikkerhed af målt værdi og af span. Det er tydeligt, at usikkerhed af målt værdi har langt mindre indflydelse, jo længere ned i måleområdet man bevæger sig.

Multivariabel type

Vortexmåleren er bedst egnet til applikationer ved lav og mellemtryksdamp, som normalt defineres som op til henholdsvis 20bar og 100bar. Netop indenfor dette trykområde, finder man de fleste applikationer, hvor der måles på mættet damp. Og som bekendt er det ved mættet damp, kun nødvendigt at måle enten tryk eller temperatur for at lave en densitetskompensering. Derfor har Yokogawa lavet en speciel udgave af Vortexmåleren, en multi variabel type. Her har Yokogawa placeret en PT1000 føler inden i shedderbaren og en flowcomputer med damptabeller i elektronikken. Derved fås et enkelt instrument, som kan måle dampflow i f.eks. kg/sek. med kompensering for densitetsændringer forårsaget af variationer i tryk og temperatur.



Billedet viser Yokogawa's multivariable vortexmåler med indbygget temperaturføler og flowcomputer for automatisk densitetskompensering.

Vortex sammenlignet med andre måleprincipper

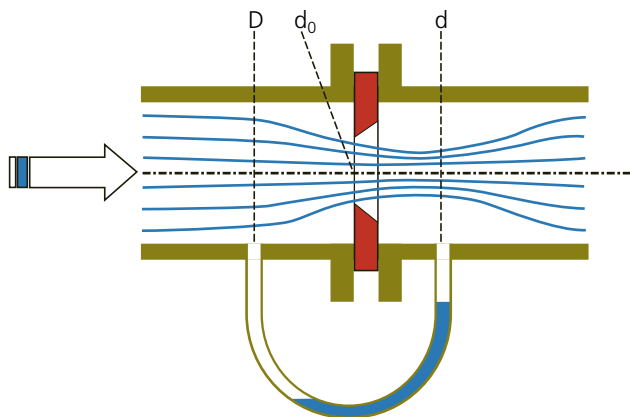
Sammenligner man Yokogawas vortexmåler med andre almindelige måleprincipper, har vortexmåleren visse fordele. Et stort turndown, typisk på 13:1, hvor man ved en måleblænde typisk kun har 5:1 og med et midlende pitotrør oftest et mere moderat turndown typisk på 8:1, dvs. vortexmåleren også har en god nøjagtighed i bunden af måleområdet. Kommer man over DN150 i størrelse, vil et midlende pitotrør være billigere, men ydelsesmæssigt er vortexmåleren stadig bedst.

Differenstrykbaseret flow med blænde og venturi

En af de ældste og mest udbredte metoder til flowmåling er at måle differenstrykket over en indsnævring i røret.

Bag om måleblænden/venturi

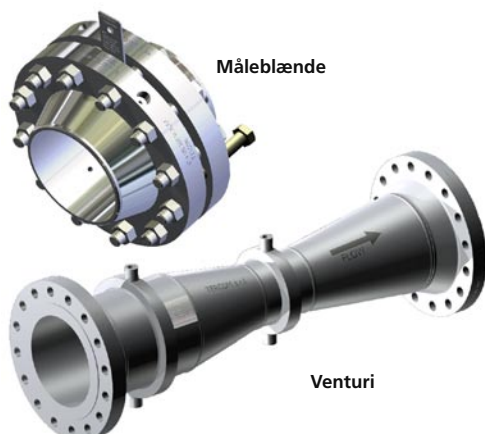
Det man reelt måler, er en forskydning af energien i mediet. Iflg. Bernoullis' ligning er summen af energi i mediet konstant og består af kinetisk + potentiel energi. Når man har en indsnævring i procesrøret, og samme mængde skal passere, vil hastigheden selvsagt stige. Når det sker, vil trykket falde og potentiel energi (tryk) ændres til kinetisk energi (hastighed). Ved at måle trykændringen (differenstryk), får man altså et udtryk for flowhastigheden på mediet.



Sammenhængen mellem flow og differenstryk er iflg. Bernoullis' ligning ($\text{Flow} = k \cdot \sqrt{dP}$), hvor konstanten indeholder oplysninger om bl.a. de såkaldte dynamiske værdier, såsom diameterforholdet (β) (forholdet mellem indsnævrings og rørets diameter), indsnævrings form (C), ekspansions-tallet (ϵ) rørets ruhed (friktionsstryktab). I realiteten ser formelen ud som vist i faktaboksen til højre.

Alle disse dynamiske værdier ændrer sig med flowhastigheden, hvilket betyder, at den K-faktor som man normalt regner for konstant, slet ikke er det. Der kan læses mere om dette under afsnittet med den multivariable dP-transmitter fra Yokogawa, som både kan udkompensere disse dynamiske værdier, og lave den normale densitetskompensering for ændringer i tryk og temperatur.

Som det ses, uddrages der kvadratrods af differenstrykket, og det får konsekvenser for den samlede nøjagtighed, som vi senere skal se.



Der er mange aspekter og parametre at tage højde for ved en blænde- eller venturimåling, og formlerne til udregning af flowet er kun gyldige, når normen ISO 5167 følges mht. udformning, installationsmåde og trykuttag.

Typisk udformning for en blænde og venturi ses af hhv. figur 1 og 2. Hvor venturien er et helt rørstykke, som spændes imellem flanger. Måleblænden er derimod blot et skive, som også spændes imellem flanger. Måleblændens trykuttag sidder i dette tilfælde i flangen.

Anskaffelsesprisen for blænden er forholdsvis lille, hvorimod venturien er væsentlig dyrere pga. mængden. I begge tilfælde skal der tillægges prisen for differenstrykstransmitter(e), afspærringsventiler, kondenspotter, manifold, impulsrør og evt. vandudlader.

Formel for flow med måleblænde iht. ISO5167.

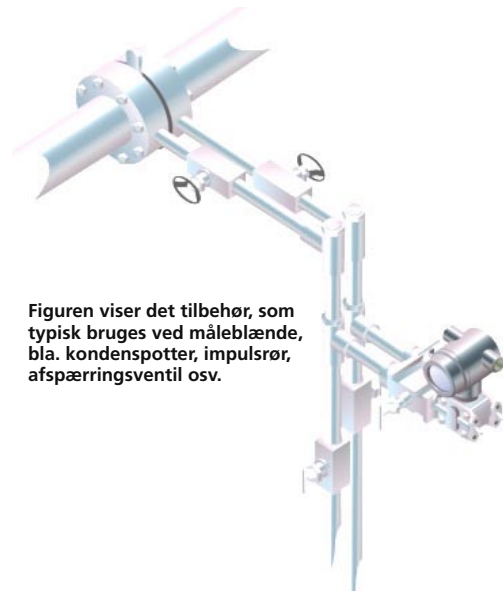
$$Q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \epsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot dP \cdot \rho}$$

- C Gennemstrømningstallet, afhængig af geometri og Reynold's tal (Discharge Coefficient)
- β Diameterforholdet, d/D
- ϵ Ekspansions-tal, kompenserer for ændringer i densitet gennem dP- ændringer
- dP Målt differenstryk
- ρ Driftsdensitet
- Q_m Masseflow

Reynold's tal er en funktion af flowhastigheden, viskositet og rørets diameter og er et udtryk for, hvor turbulent flowet er:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

v = flowhastighed d = rørdiameter ν = viskositet



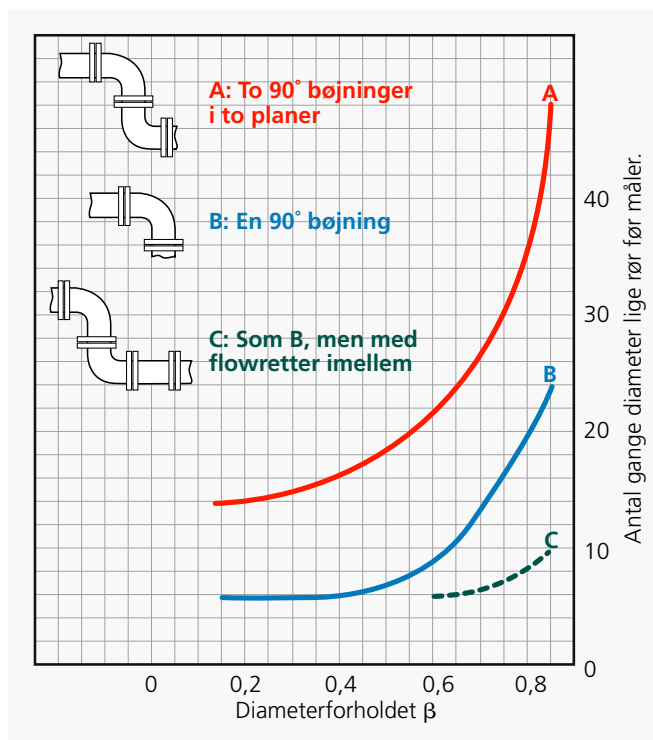
Figuren viser det tilbehør, som typisk bruges ved måleblænde, bl.a. kondenspotter, impulsrør, afspærringsventil osv.

Montage

I relation til dampmåling er en måleblænde sart overfor ændringer i indsnævringen, da det betyder, at formlerne ikke længere er gyldige og resulterer i forkerte målinger. Dampen bør også filtreres og separeres (vand/damp) inden måling, da urenheder og vandslag forårsager slid på måleblænden. En venturi er knap så sart overfor dette. Det er vigtigt for måleblænden, at den forreste kant er skarp.

Fælles for blænde og venturi er kravet til en meget ensartet flowprofil og dermed lange lige rørstrækninger.

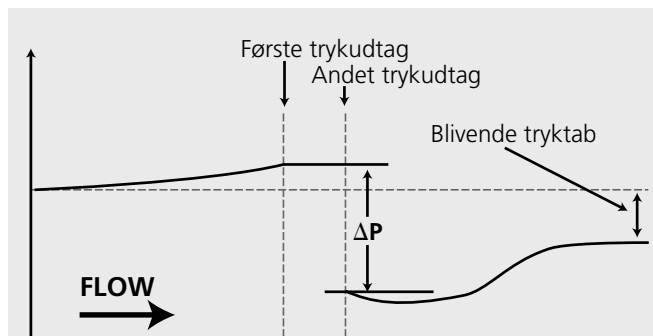
I figur 3 er vist kravet for lige rørføring som funktion af β -forholdet.



Figur 3. Krav til lige rørføring ved måleblænde og venturi set ud fra diameterforholdene β og ved forskellige konditioner.

Tryktab

En væsentlig faktor at tage i betragtning er tryktabet over flowmåleren. Tryktab er som bekendt lig med energitab. Det afhænger af differenstrykket over måleren (dP), β -forholdet og gennemstrømningskoefficienten (C), som ifølge ISO 5167-2 2003 beror på empiriske tal. For venturien er det relativt lille. Det ligger mellem 10-30% af differenstrykket. For blænden er det derimod stort, og det ligger mellem 30-80% af differenstrykket. Figur 4 viser, hvordan trykket forholder sig hen igennem blænden.



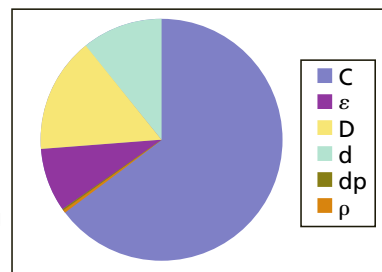
Figur 4 viser trykforløbet igennem måleblænden. For venturien ligger det blivende tryktab på 10-30% af det målte dP -tryk. For måleblænden er det 30-80%.

Nøjagtighed

Usikkerheden for en blænde eller venturi regnes ud fra ISO 5167-2 2003 efter nedenstående formel. Her ses at alle fornuftige værdier, som indgår i formelen for flow, bidrager med en usikkerhed, som skal medregnes. Heri er også usikkerheden for dP -transmitteren.

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\varepsilon^2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho}{dP}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2}$$

De anførte tal (med rødt) er et eksempel taget fra ISO 5167-2 2003, det er her værd at bemærke, at disse tal kun er gældende for et konstant Reynold's tal. Ændres dette, f.eks. ved ændring i flowet eller blot temperatur, vil disse værdier også ændre sig. Alle disse værdier omtales normalt, som de dynamiske værdier og regnes oftest som værende konstante, men er det i virkeligheden langt fra. I ISO 5167-2 2003 kan alle disse dynamiske værdier findes ved forskellige konditioner (Reynold's tal).



Et andet og væsentligt punkt er dP -transmitterens usikkerhed. Pga. det kvadratiske forhold imellem flow og differenstrykket, vil der ved et turndown på 10:1 på flowet, være et turndown på dP -trykket på 100:1. Dette sætter meget store krav til transmitteren, hvis usikkerhed oplyses som værende af span.

Ændringen i disse dynamiske værdier, sammen med dP -transmitterens begrænsninger, er årsagen til, at det maksimale turndown ved måleblænden og venturien ligger omkring 3:1 - 5:1.

Split Range

Transmitterens usikkerhed ved store turndown, kan dog mindskes markant ved at køre en såkaldt split-range, hvor to transmittere deler måleområdet, og derved hver for sig har et mere moderat turndown. Dette kræver dog en speciel flowcomputer, som kan håndtere dette.

Er valget faldet på en differenstrykbaseret måling, må man sikre sig en nøjagtig differenstrykstransmitter, da en bedre nøjagtighed betyder meget i sidste ende for den totale nøjagtighed.

Vedligeholdelse

Vedligeholdelse af et blænde-/venturiarrangement består bl.a. i justering af differenstrykstransmitteren.

Hvis tilfældet er, at dampen er uren, og der opstår vand i dampen, vil dette slide måleblænden og forårsage yderligere målefejl. Derfor bør disse også efterses med jævne mellemrum. Derudover er der kondenspotter, manifold, separator og vandudlader. Det giver mange samlingspunkter i systemet og dermed større lækagerisiko.

Multivariabel dP -transmitter

Dette kan dog forbedres væsentligt ved at bruge en såkaldt multivariabel dP -transmitter.

Yokogawa har udviklet sådan en transmitter, som kompenserer for variationer i de dynamiske værdier ud fra ændringer i Reynold's tal. Derved opnås mulighed for et turndown på 10:1 med 1% usikkerhed.

Da Yokogawa's dP -transmitter benytter en digital målecelle, har man, udover differenstrykket, også mulighed for at måle det statiske tryk. Derved spares en almindelig tryktransmitter, samt montage og fortrådning af denne.

Differenstrykbaseret flow med midlende pitotrør

Mange steder anvendes stadig måleblænder og venturirør, til trods for at pitotrøret i mange tilfælde vil være en bedre løsning. Her tænkes bla. på trykfald og krav til lige rørstrækninger før og efter sonden, ligesom der ved større rørdiameter vil være en betydelig økonomisk fordel i at vælge pitotrøret.

Anvendelsesmuligheder

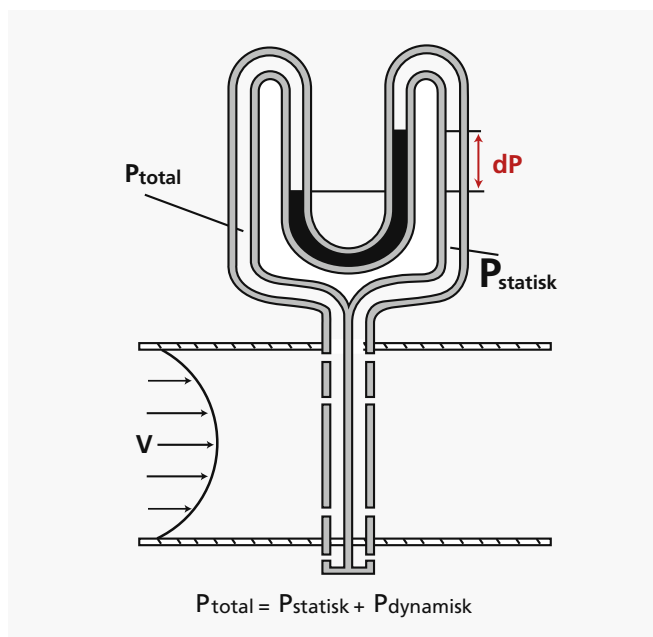
Pitotrøret kan måle på gas, damp og væske. Ligeledes kan der måles på f.eks. forbrændingsluft eller røggas med askeindhold.

Pitotrøret er nemt at installere, og der er ingen vedligehold i forhold til f.eks. en måleblænde, som skal være skarp. Med pitotrøret har man endvidere mulighed for at måle bidirektionelt. Med indbyggede kondenspotter kan dp-transmitteren monteres direkte på pitotrøret, når der måles på damp.

Bag om pitotrøret

I sin simpleste form er et pitotrør blot et bukket rør, som indsættes i procesrøret og forbindes til en differenstryktransmitter. Dette er dog ikke særligt præcist, da der kun måles i et punkt. Deltaflow fra Systec er et midlende pitotrør, som dækker hele diameteren, og derved måles der et midlet differenstryk. Dette betyder bla., at kravene til lige rørstrækninger før og efter måler kan mindskes.

Pitotrøret monteres på tværs af procesrøret på hele diameteren og består af et rør med to kanaler med huller i siden, som vender imod og med flowretningen. Røret, som vender imod flowretningen, vil måle det totale tryk i procesrøret, og det andet rør vil måle det statiske tryk. Forskellen på de to er det dynamiske tryk, som hvis dets kvadratrods uddrages, er lineært med hastigheden på mediet.



Figuren viser trykforholdene for et pitotrør. Det dynamiske tryk er ligefrem proportionelt med flowhastigheden og dermed flowmængden.

Anført som en formel vil det se ud som følgende:

$$Q_m = k \cdot \sqrt{Dp}$$

hvor k-faktoren bla. dækker over sondens usikkerhed, ekspansionstal og areal beregning.

Denne k-faktor er kun konstant, så længe flowet eller mere præcist Reynold's tal er konstant. (Se faktaboks).

Reynold's tal er en funktion af flowhastigheden, viskositet og rørets diameter og er et udtryk for, hvor turbulent flowet er:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

v = flowhastighed d = rørdiameter ν = viskositet

Ligeledes skal tryk og temperatur også være konstante, for at flowet kan beregnes med en konstant k-faktor.

I virkeligheden er formelen for flowet lidt mere kompleks og ser ud som følgende:

$$Q_m = \sqrt{\frac{1}{\zeta}} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot dP \cdot \rho}$$

ζ Blokeringsfaktor

ε Ekspansionstal, kompenserer for ændringer i densitet gennem dP-ændringer

dP Målt differenstryk

ρ Driftsdensitet

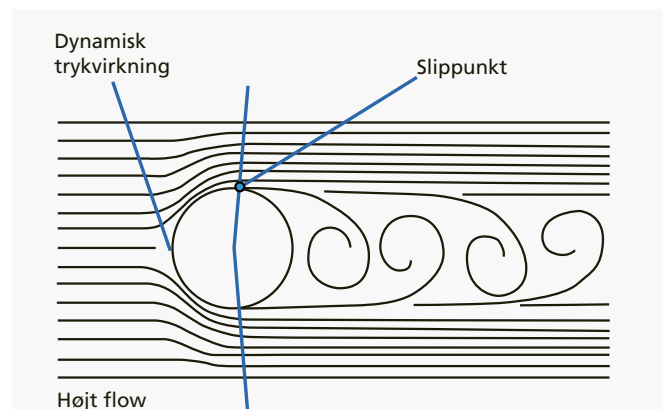
Q_m Masseflow

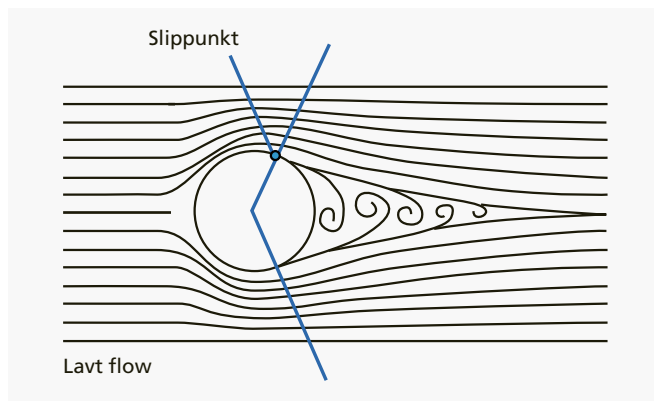
Blokeringsfaktoren

Blokeringsfaktoren ζ er et udtryk for den usikkerhed, som differenstrykket kan måles med, og den største bidrager til denne faktor er mediets slippunkt på sonden.

Slippunktet

Slippunktets placering er væsentligt for korrekt optagelse af det dynamiske tryk. Flytter slippunktet sig afhængig af Reynold's tal, vil det dynamiske tryk fordele sig forskelligt rundt på sonden og vil ikke blive korrekt optaget. En sådan sonde er svær at kalibrere korrekt.

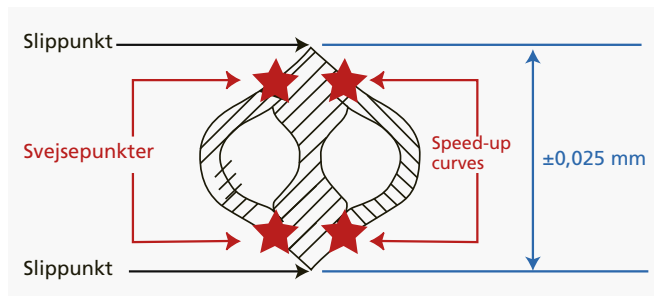




Figuren viser at der ved en rund profil opstår problemer med mediets slippunkt på sonden. Slippunktet vil flytte sig med Reynold's tal og dermed flowet.

Er Reynold's tal over 8000, får man med deltaflow et fast slippunkt uanset flowhastighed, og dermed altid korrekt optagelse af det dynamiske tryk, og der opnås typisk en usikkerhed på <1 %. Årsagen til dette skal findes i deltaflow's specielle udformning, som er udviklet og optimeret på baggrund af utallige testprøvninger hos Systec og det tyske universitet i Erlangen. Her har man udviklet Deltaflows unikke form med de såkaldte speed-up curves, som sikrer et konstant slippunkt.

Deltaflow består af tre dele, som maskinsvejses sammen i et ukritisk punkt på sonden, og man opnår derved en tolerance på kun $\pm 0,025\text{ mm}$ for sondebredden. Dette er et væsentligt punkt at bemærke, da $\pm 1\text{ mm}$ giver op til 10% målefejl ved et DN100 rør.



Figuren viser et snit af Systec's pitotrør, hvor bla. de såkaldte speed-up curves kan ses. Slippunktet er konstant fra Reynold's tal >8000.

Ekspansionstallet

Ekspansionstallet ϵ er ligesom blokeringsfaktoren afhængig af Reynold's tal og kompenserer for den densitetsændring, som opstår ved kompressible medier pga. trykfaldet henover sonden. Ved anvendelse af deltaflow er den uden betydning, da tryktabet over sonden er meget lavt, selv ved kompressible medier (gas og damp), og kan derfor regnes som værende = 1. Ved en måleblænde er denne faktor væsentlig større og skal udkompenseres.

Densiteten

Densiteten ρ indgår også i formlen og varierer med tryk og temperatur for gasser og damp. Da væsker regnes for inkompressible, vil det kun være temperaturen, som påvirker densiteten. Har man varierende tryk og temperatur, skal dette udkompenseres. Den konventionelle metode har været en flowcomputer samt ekstern temperatur- og tryktransmitter. Dette er dog forbundet med en del ekstra installation og montagearbejde samt ekstra fortrådning.

Et komplet instrument

Med pitotrøret fra Systec er det muligt at få en integreret temperaturføler, hvor et PT100 element føres ind i procesrøret via pitotrøret.

Kombineres pitotrøret med en multivariabel differensstryktransmitter fra Yokogawa, som også kan måle det statiske tryk ud over differensstrykket, fås et komplet instrument med densitetskompensering og kun en enkelt processtilslutning.

Nøjagtighed

Usikkerheden ved en måling med et pitotrør består både af usikkerheden for sonden og for dP-transmitteren.

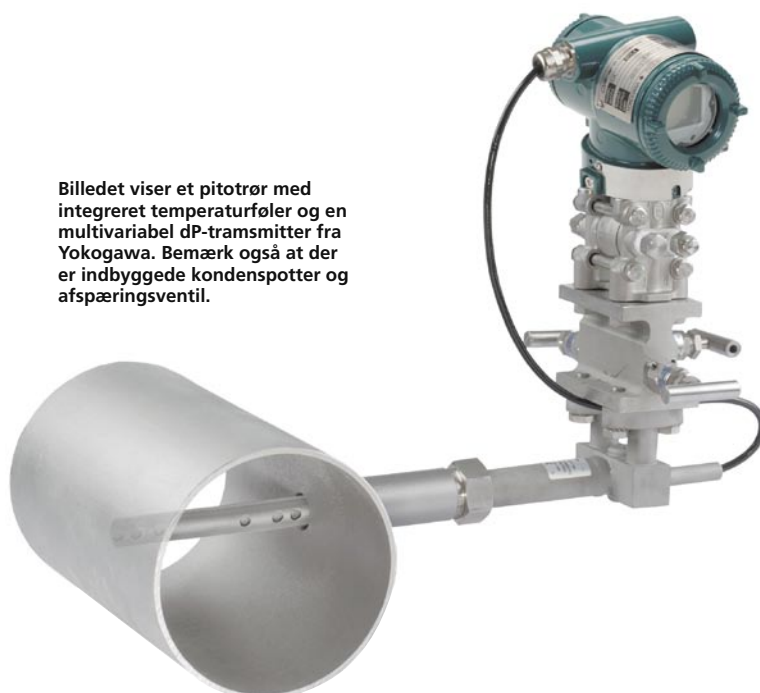
For sondens vedkommende, vil blokeringsfaktoren, som tidligere beskrevet, være konstant så længe Reynold's tal er over 8000. Dvs. normalt vil et turndown på 30:1 være muligt. Det er derimod dP-transmitterens kunnen, der sætter begrænsningen. Da der som bekendt er et kvadratisk forhold imellem flow og dP-tryk, vil et turndown på 10:1 på flowet, betyde et turndown på dP-trykket på 100:1. Normalt siges et turndown på 8:1 at være max for pitotrøret, men med Yokogawa's digitale dP-transmitter kan et turndown på 10:1 holdes indenfor 1-2% usikkerhed.

Split Range

Her er det også muligt at anvende Split Range, hvor to eller flere transmittere deler måleområdet. Derved opnås en markant bedre nøjagtighed og turndown på op til 30:1 er muligt. Det kræver en flowcomputer, som kan håndtere dette.

Systec har udviklet en flowcomputer, som kan håndtere op til fire dP-transmittere og regne dem om til et enkelt 4...20 mA signal svarende til det totale måleområde.

Billedet viser et pitotrør med integreret temperaturføler og en multivariabel dP-transmitter fra Yokogawa. Bemærk også at der er indbyggede kondenspotter og afspæringsventil.



Flowmåling af højtryksdamp

Kigger man på en typisk kraftværksapplikation, hvor der måles på dampen umiddelbart efter kedlen, vil det være overhededt damp ved højt tryk og høj temperatur, der skal måles på.

Til dette udstyr kræves udover nøjagtighed, minimalt tryktab, stort målbart område og specielle materialer, også specielle godkendelser. Arbejdstilsynet kræver en mere dybdegående certificering og beregning af flowmåleren, end der typisk vil kunne gives på flowmålere generelt.

Insatech A/S kan fra Systec Controls levere denne type flowmålere med de krævede godkendelser.

Hvad er højtryksdamp?

På f.eks. kraftværker, vil der til at drive turbinen, anvendes overhededt damp ved højt tryk og høj temperatur. Hvornår man taler om højt tryk og temperatur er svært at grænsesætte helt klart, men som tommelfingerregel kan man sige, at bevæger man sig i området op til ca. 20 bar, tales der om lavtryksdamp, op til ca. 100 bar middeltryksdamp og derefter højtryksdamp.

Et eksempel fra et dansk kraftværk på højtryksdamp er driftsbetingelserne 205 barg ved 550°C, hvor det er overhededt med 180°C. Til sådan en applikation kan der ikke blot indsættes hvilken som helst flowmåler. For det første er driftsbetingelserne ekstreme for mange måleprincipper, og for det andet kræver arbejdstilsynet en speciel godkendelse på måleren, der helt klart tilkendegiver, at den kan holde til disse betingelser. Faktisk må stort set alle moderne måleprincipper med en eller anden form for elektronisk aftastning give fortabt, og man må vende sig mod de meget velkendte differenstrykbaserede principper.

Den påkrævede godkendelse

Når dampen kommer fra kedlen har den så meget energi i sig, som følge af det høje tryk og den høje temperatur, at det skal sikres, der ikke kommer lækager eller brud nogen steder i systemet.

Det kræver et korrekt materialevalg, dimensionsberegning, samt test af hele systemet og deraf også flowmåleren. Certificeringen er i henhold til PED (direktiv om trykbærende udstyr (97/23/EC)).

Godkendelsen fortæller at producenten:

- A. Har gennemført og fået TÜV (Technischer Überwachungs-Verein) godkendelse.
 - Materiale test for sprækker og brud (die penetration)
 - Hårhedstest
 - Materiale identifikations test.
- B. Ved specielle materialer udføres røntgenkontrol.
- C. Har udarbejdet en certifikat pakke indeholdende.
 - Råmateriale certifikater i henhold til DIN EN10204-3.2 (tidligere kendt som 3.1A)
Dette certifikat gør det muligt ud fra heatnummer at spore alle de anvendte materialer på de tryksatte dele.
 - Overensstemmelses certifikat (Declaration of Conformity)
Udstedelse af certifikat der erklærer at udstyret er produceret inden for PED 97/23/EC

Systec Controls har haft denne godkendelse siden 1995 og har til dato leveret et stort antal sonder, hvor TÜV har været inde og godkende dem. Sonderne til disse applikationer er benævnt deltaflow type DF25HD.

Certificeringen af selve flowmåleren består af:

- detaljerede tegninger af enkeltdele dimensioneret efter designtryk og -temperatur
- materialetest af enkeltdele
- stemping af enkeltdele
- dye penetration test af alle svejsninger
- glødetest, hvor flowmåleren varmebehandles ved 750°C

Med denne godkendelse og certificering i hånden kan man indsætte og anvende flowmåleren til måling af højtryksdamp.



Billedet viser et DF25HD pitotrør til højt tryk og temperatur applikationer.

Materialevalg

De dele af sonden, der svejses sammen med røret, skal være og er i samme materiale undtagen det midlende pitotrør. Pitotrøret er altid fremstillet af det austenitiske stål 1.4828, som er varmebestandigt op til 1.200°C. De andre dele, som er indsvejsningsstudsene, modstudsene, føringsrøret, sondehoved og kondenspotterne, er lavet af den ståltype, som brugeren har fremstillet sit rør af.

Hvorfor vælge Pitotrøret frem for f.eks. måleblænden?

Det midlende pitotrør har mange fordele frem for måleblænder, dyser o.l., specielt når der tales om ydelse og økonomi.

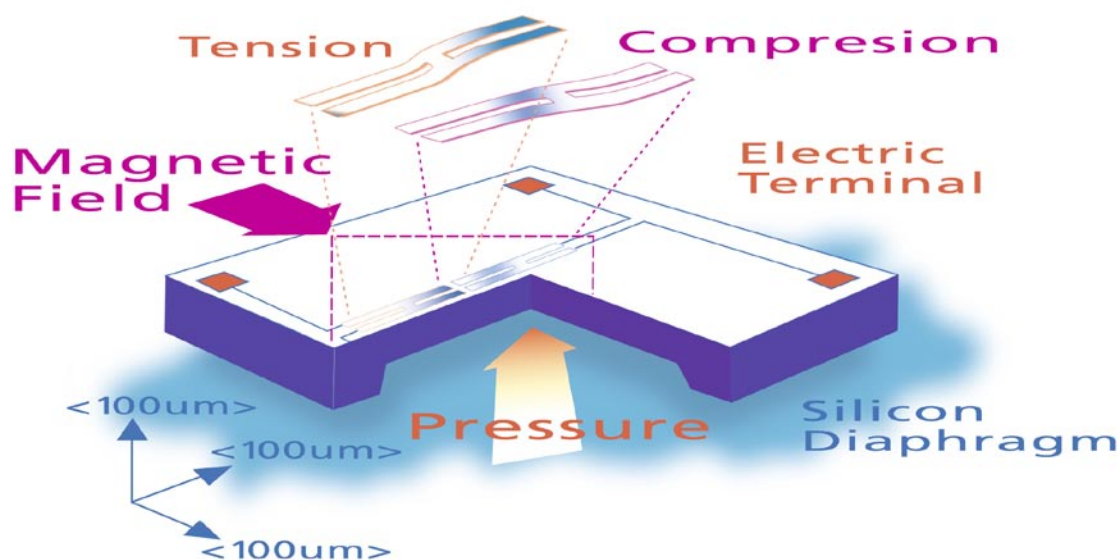
Måleblænder, venturi og dyser er baseret på en energigændring ved en kontraktion af flowvejen, der giver et betydeligt større tryktab end den dynamiske trykændring, som deltaflow giver, som følge af, at flowet bliver nul foran sonden, og al energi omdannes til tryk, svarende til procestryk, plus dynamisk tryk. Trykdifferensen over sonden opstår ved, at der på modsatte side er et referencetryk lidt mindre end procestrykket pga. hvirveldannelse, der giver et vakuum.

Et eksempel på besparelse ved pitotrør kontra måleblænde er gjort på et tysk kraftværk, hvor der produceres 100.000 kg/h damp i et Ø600 mm rør. Ved måleblænde dannes et differenstryk på ca. 690 mbar, hvor det blivende tryktab var ca. 358,8 mbar. Ved indsættelse af deltaflow er differenstrykket 56,49 mbar, og det blivende tryktab 1,58 mbar. Det giver en besparelse på 357,22 mbar. Dette gav ca. 1 MWh ekstra ud af turbinen. En MWh kostede 320,- kr., og turbinen kørte 8000 timer/år, og i sidste ende 2.56 mio. kr. om året!

Kigges der på kravet til en symmetrisk flowprofil, kræver blænden et væsentlig længere ind og udløb, end pitotrøret gør. Årsagen til dette skyldes, at pitotrøret reelt sidder på tværs af flowretningen og derved midler over hele diameteren.

Differenstrykstransmitter

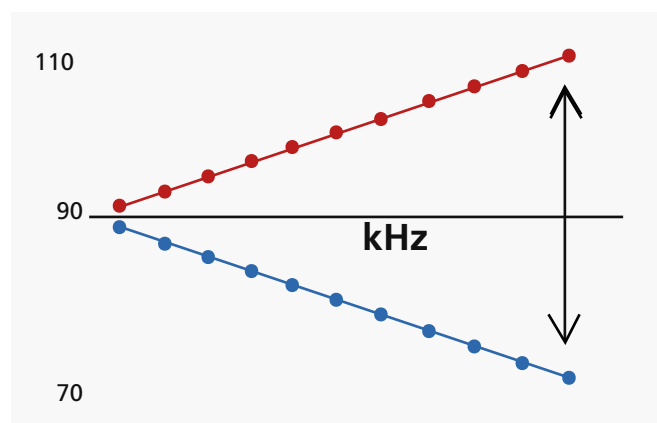
Til de differenstryks (dp) baserede flowmålere hører selvsagt en dp-transmitter. Yokogawas tryktransmittere er forsynet med en digital målecelle (Fig. 1), som er årsagen til transmitterens gode præstationer og nøjagtighed, som derfor gør den særdeles velegnet til dp-flowmålinger.



Figur 1 viser opbygningen af den digitale målecelle.

Bag om Yokogawas dP-transmitter

Selve målecellen består af 2 H-formede silicium monokrystaller, som vibrerer med en resonansfrekvens på 90 kHz. De er placeret forskudt på siliciummembranen, så den ene strækkes og den anden komprimeres, når den udsættes for tryk. Den der strækkes vil stige i frekvens, og den som komprimeres vil falde i frekvens. (Fig. 2).



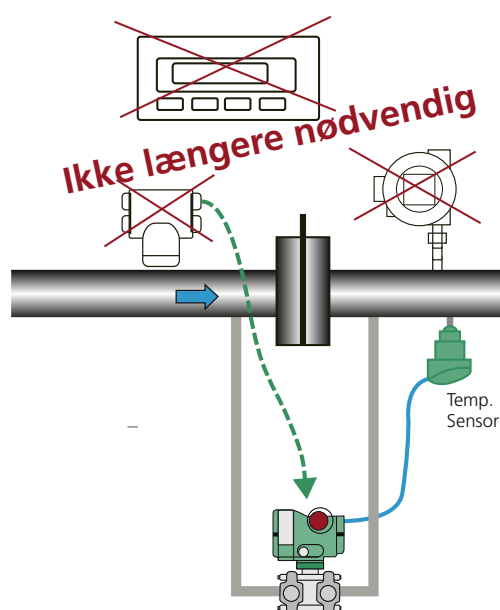
Figur 2 viser målefrekvensen for de to H-formede måleceller.

Ved subtraktion af de to frekvenser fås direkte det målte differenstryk, og ved at addere de to frekvenser og dividere med 2, fås det statiske tryk. Dermed opnås både måling af differenstryk, og det statiske tryk med kun en målesensor.

Den meget store signalændring er en fordel med hensyn til nøjagtighed og stabilitet, samt giver mulighed for turndown på op til 200:1, uden at gå på kompromis med nøjagtigheden. Man kan sammenligne det med et moderne quartz-ur, som har en fantastisk nøjagtighed, og det samme gælder for Yokogawa's målecelle.

Multivariabel type med densitetskompensering

Yokogawa's digitale dP-transmitter kan også fås i en multivariabel type, som udover muligheden for at måle det statiske tryk, også har en indgang for temperatur. Med en indbygget flowcomputer og damptabel erstatter den de konventionelle flowcomputere og tryktransmittere. Dette betyder, at man sparer en tryktransmitter og en flowcomputer, samt montage og fortrådning af disse.



Figuren viser at man med en EJX910A multivariabel transmitter kan erstatte tryk- og temperaturtransmitter samt flowcomputer.

Kompensering af de dynamiske værdier

Udover densitetskompenseringen, som er nødvendig, når der sker ændringer i tryk og temperatur, er der også de dynamiske værdier, som man bør tage højde for ved en dP-baseret flowmåling.

Formlen for dP-baseret flow er iflg. Bernoullis ligning ($\text{Flow} = k \cdot \sqrt{dP}$), hvor konstanten indeholder oplysninger om bl.a. de såkaldte dynamiske værdier, såsom diameterforholdet (β) (forholdet mellem indsnævringens og rørets diameter), gennemstrømningstallet (C), ekspansionstallet (ϵ). I realiteten ser formelen ud som vist i faktaboksen. Alle disse dynamiske værdier ændrer sig med flowhastigheden, så den oprindelige k-faktor er kun korrekt ved 100% flow.

Så snart flowet falder til under 100%, stiger fejlen i flowfaktoren k , betydelig bidragende til den samlede nøjagtighed for flowmålingen.

Formel for flow med måleblænde iht. ISO5167.

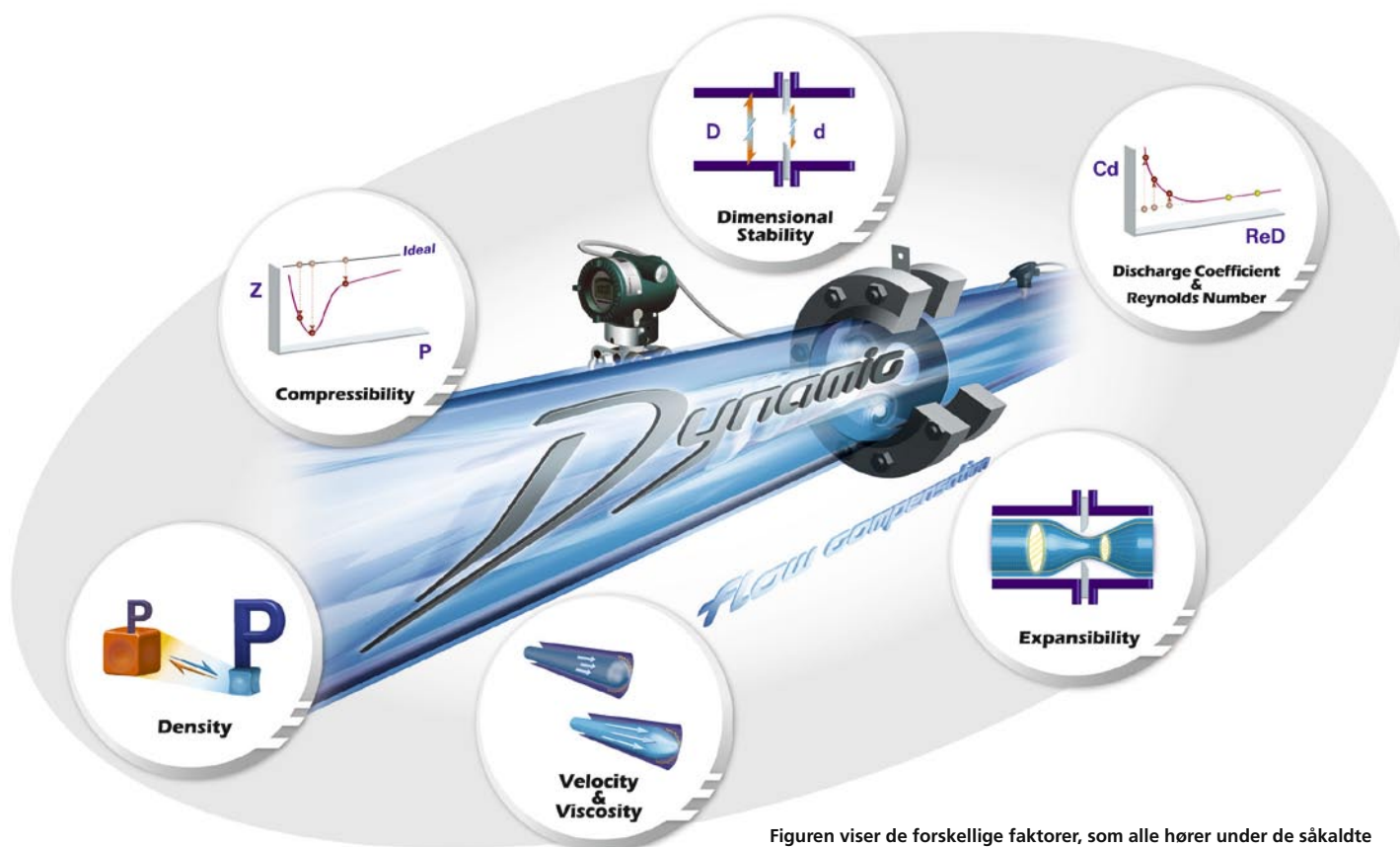
$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \epsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot dP \cdot \rho}$$

- C Gennemstrømningstallet, afhængig af geometri og Reynold's tal (Discharge Coefficient)
- β Diameterforholdet, d/D
- ϵ Ekspansionstal, kompenserer for ændringer i densitet gennem dP-ændringer
- dP Målt differensstryk
- ρ Driftsdensitet
- q_m Masseflow

Et primær element til en dP-baseret flowmåler er altså beregnet ud fra et specifikt sæt af driftbetingelser, og når disse driftbetingelser ændres under virkelige forhold – lavere flowområde – skal brugeren faktisk lave ny beregning for hvert nyt sæt driftbetingelser.

Dette er præcis, hvad den nye EJX910A multivariable transmitter er i stand til. Den korrigerer for tryk- og temperaturvariationer og kan kompensere kontinuerligt for påvirkninger ved ændringer i driftbetingelser for K-faktoren. I lighed med en almindelig dP-transmitter med en separat flowcomputer, hvor der opnås et turndown på måske 3:1, maks. 5:1, er Yokogawa's dP-transmitter i stand til at kompensere for de dynamiske værdier og deres effekt på K-faktoren.

Som konsekvens er nøjagtighedsspecifikationen $\pm 1\%$ af aktuelt flow, ved ideelt primærelement, med et turndown på 10:1 på flow, hvilket betyder at turndown på dP er 100:1.



Figuren viser de forskellige faktorer, som alle hører under de såkaldte dynamiske værdier, som EJX910A kan udkompensere sammen med en almindelig densitetskompensering.

Dataopsamling og visning af data



MW100

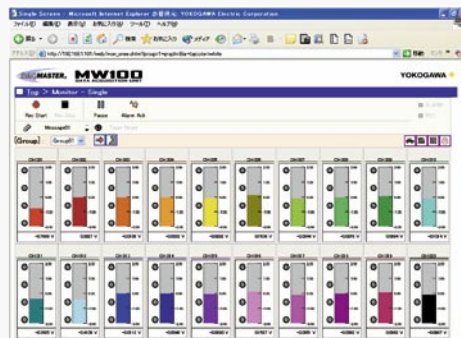
Muligheder mht. kompensering af densitet og de dynamiske værdier kan også foretages i en Yokogawa MW100, som reelt er en mini-PC. Den kan håndtere op til 10 flowberegninger på en gang, og man kan derved blot benytte alm. dP-transmittere. Ligeledes kan den også erstatte alm. flowcomputere.

Udover denne mulighed, at være en multifunktions flowcomputer, har MW100 avancerede data logningsfunktioner af både de aktuelle og beregnede værdier, dette giver mulighed for at lave automatisk rapportfunktion til et databasesystem eller bare direkte i en e-mail. Den kan sende resultaterne videre til et DCS eller PLC anlæg.

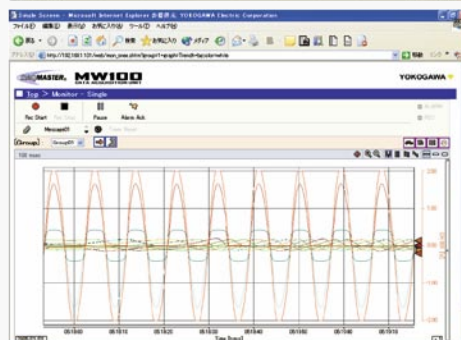
MW100 har også simple styringsfunktioner. Ved hjælp af dens analoge/digitale ind/udgange kan den bruges til at lave simple styringsfunktioner, stoppe en proces hvis grænseværdier overskrides eller optimere på energiflowet, således at anlægget benyttes mest omkostnings-effektivt ud fra endda meget avancerede matematiske formler.

Eksempler på web-visningen fra MW100

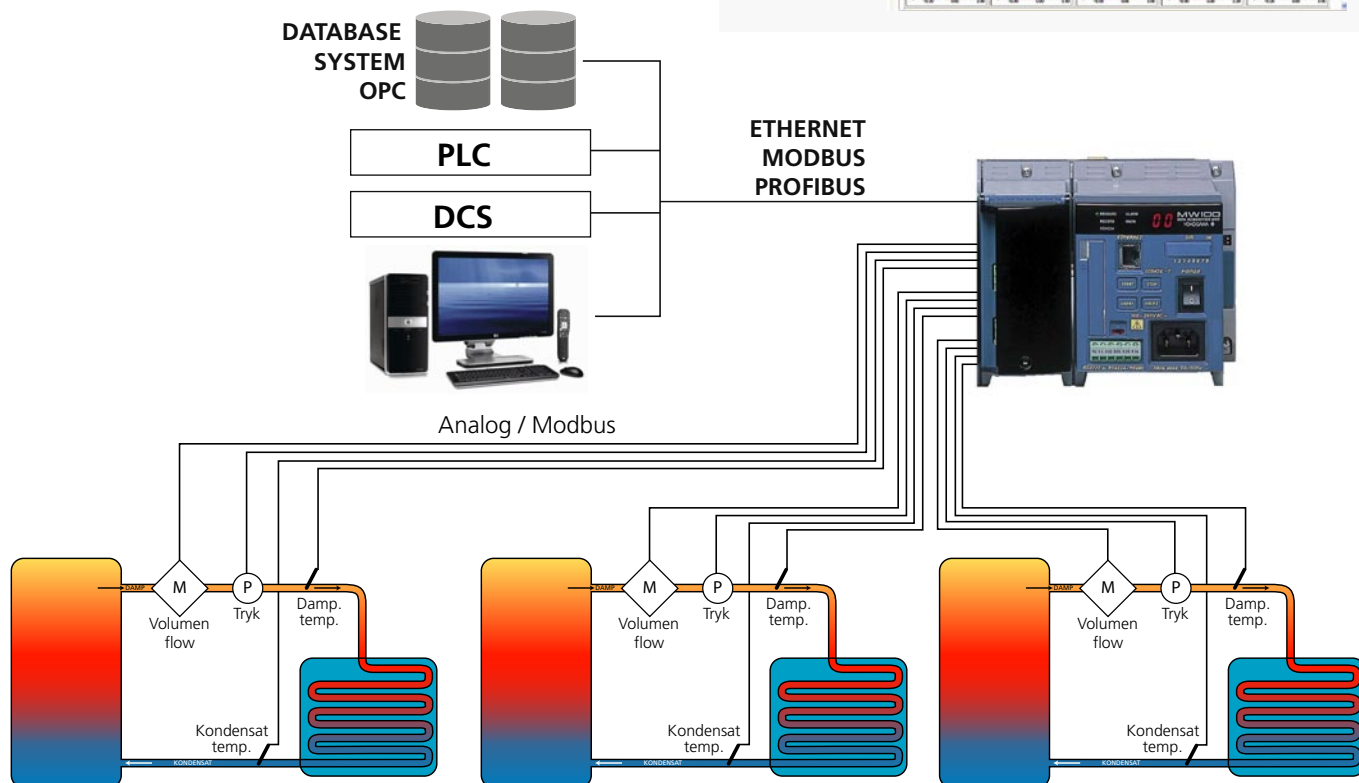
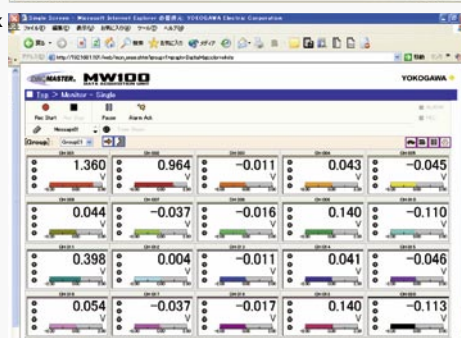
Visning af procesværdier i MW100.



Trendkurver
på MW100.



**Hurtigt overblik
over
procesværdier
i MW100.**



Flowcomputer

Som tidligere beskrevet er man enten interesseret i at kende energi eller masseflowet for dampen, sommetider også begge. I begge tilfælde er det nødvendigt at foretage en volumetrisk flowmåling og derefter gange med densiteten/vægtfylden for dampen. Dette kan gøres på en simpel måde og en lidt mere "avanceret" måde alt afhængigt af kravene til nøjagtighed, og ligeledes afhængigt af, hvor store variationer man har i tryk og temperatur på dampen.

Den simple metode vil være at bruge en fast densitet til udregning af masseflowet. Dette kan f.eks. gøres automatisk i en vortexmåler, og ved dp-baserede flowmålinger kan det medregnes, når instrumentet dimensioneres vha. af sizing software. Man skal dog være opmærksom på, at selv den mindste afvigelse i trykket kan få meget stor indflydelse på nøjagtigheden af målingen.

Ud fra tabel 1 ses det, at densiteten ændrer sig forholdsvis meget ved mindre tryk- eller temperaturændringer. Har man som eksempel mættet damp ved 2 bar og et volumenflow på 500 m³/h, vil det give et masseflow på 555 kg/h. Stiger trykket imidlertid til 2,5 bar ved samme volumenflow, fås nu et masseflow på 684 kg/h. Det er en stigning på 23%! Derfor er det meget vigtigt at måle sit damptryk og bruge det til kompenserung, så man får udregnet det rigtige masseflow.

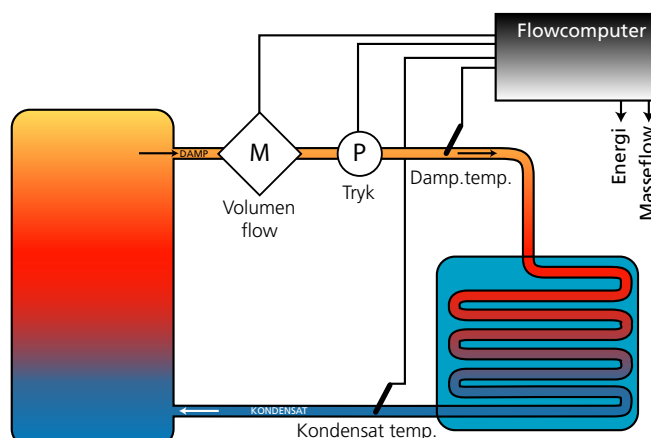
Tryk	Temperatur °C	Massefylde kg/m ³
1,0	99,1	0,5797
1,2	104,3	0,6875
1,4	108,7	0,7941
2,0	119,3	1,1090
2,5	126,8	1,3670
3,0	132,9	1,6220
5,0	151,1	2,6220
8,0	169,6	4,0850
10,0	179,0	5,0490

Tabel 1. Uddrag af damptabellen for mættet damp.

Systec flowcom flowcom til tryk- og temperaturkompensering samt energiberegning.



Til den volumetriske flowmåling bruges en flowmåler, der fortæller hvor mange volumenenheder, der strømmer pr. tidsenhed. Typisk angives det i m³/h. En flowcomputer kan så, ud fra det målte tryk og temperatur, "slå" densiteten op i en damptabel. Ved mættet damp er der som tidligere beskrevet en sammenhæng imellem tryk og temperatur, og det er derfor kun nødvendigt at måle den ene af de to. Det anbefales altid at måle trykket frem for temperaturen, da responstiden for en tryktransmitter vil være i millisekunder, frem for en temperaturføler som kan bruge flere minutter. Måles der på overhedet damp, er der ikke længere sammenhæng imellem tryk og temperatur, og begge dele skal derfor måles.



Figur 1.

Flowcomputeren fra Systec er udviklet til netop disse damp-applikationer. Der er mulighed for 6 analoge 4...20 mA input, adskillige impuls input og RTD signaler fra PT100 følere. Computeren har to kanaler og kan derved håndtere to uafhængige flowmålinger samtidig, eller en energimåling hvor der tages højde for restenergien i returløbet. Se evt. figur 1.

Split Range

Der er også mulighed for at køre split range, hvor flere dP-transmittere monteres på samme primær element, og derved opnås større turndown.

Flowcom kan håndtere op til fire analoge input fra dP-transmittere og "lægge" dem sammen til et enkelt måleområde på en 4-20 mA udgang.

Midling

Ligeledes kan flowcomputeren håndtere midling af flere målinger, som f.eks. bruges for at opnå en bedre nøjagtighed. Dette anvendes tit ved pitotrørsmålinger, hvor der er meget vanskelige installationsforhold. Her kan det forbedre usikkerheden væsentligt, at sætte flere sonder ved siden af hinanden.

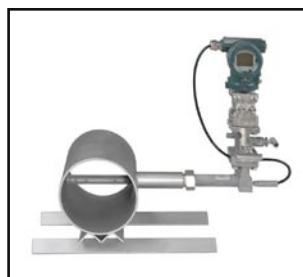
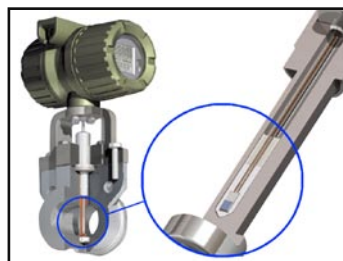
Sammenligning af flowmåleprincipper og løsninger

Yokogawa Vortex	Systec midlende pito-	Måleblænde
Prisgunstig op til DN150, derefter forholdsvis dyr	Særdeles prisgunstig ved større diametre	Prisgunstig op til DN150
Let at montere	Særdeles let at montere	Kræver en del montage arbejde
Intet vedligehold (langtidsstabil)	Minimalt vedligehold	Lidt vedligehold
Moderat krav til lige rørforløb	Små krav til lige rørforløb (midler over hele rørdiameteren)	Store krav til lige rørforløb (Helt op til 44 x D)
Intet ekstra udstyr	Minimalt ekstra udstyr (Det meste er integreret)	En hel del ekstra udstyr (Ventiler, kondenspotter, impulsrør osv)
Tåler temperatur op til 450°.	Velegnet til alle tryk og temperaturer	Velegnet til alle tryk og temperaturer
Moderat tryktab	Meget lille tryktab	Stort tryktab
Stort turndown (13:1)	Moderat turndown (10:1)	Lille turndown (5:1, dog 10:1 med Yokogawa's multivariable dP-transmitter)
God nøjagtighed (stort måleområde)	God nøjagtighed (moderat måleområde)	God nøjagtighed (lille måleområde)
Målenøjagtighed dokumenteres vha. kalibrering	Målenøjagtighed dokumenteres vha. kalibrering	Målenøjagtighed defineret iht. ISO5167-2 2003

TRADITIONELLE LØSNINGER



MULTIVARIABLE LØSNINGER



Øverst ses de traditionelle metoder. Nederst ses de multivariable løsninger, der bl.a. vil give økonomiske besparelser på montage, fortrådnings og vedligehold.

Opsummering

Valg af flowmåler

Når der skal måles på damp, står valget, som tidligere beskrevet, imellem vortex flowmåleren, måleblænden og pitotrøret. Her bør der ikke være meget tvivl om, at Vortex måleren har overhalet "den gode gamle" måleblænde.

Her tænkes specielt på fordelene omkring måleområde, nøjagtighed, tryktab, installationskrav og ikke mindst vedligeholdelse. Kommer man over grænsen omkring DN150, bliver Vortex flowmåleren uhensigtsmæssigt dyr, og pitotrøret vil her være en fornuftig løsning. Igen fordi nøjagtighed, tryktab, installationskrav og ikke mindst pris er mere fordelagtige ved pitotrøret frem for måleblænde/venturi.

Måleblænde/venturi har dog den fordel, at alle forhold omkring disse er beskrevet i en ISO standard (ISO 5167). Herunder ligger krav til udførelse af blænden, samt krav til installation og ikke mindst information om, hvorledes usikkerheden for målingen beregnes. Det betyder i praksis, at man med stor sikkerhed kan regne sig frem til usikkerheden. Dette bruges mange steder, hvor der afregnes for dampen.

Samlede løsninger

Som tidligere beskrevet, er dampens densitet meget følsom overfor ændringer i tryk eller/og temperatur. Derfor bør der altid densitetskompenseres, når man måler på damp, både for mættet og overhededet damp. Dette kan principielt gøres på tre måder, lidt afhængig af valget af flowmåler.

Der er den traditionelle løsning med en flowmåler, tryktransmitter, temperatur føler og en flowcomputer til tavle montage. I mange tilfælde laves beregningen også i det eksisterende styresystem.

Der er dog også de forholdsvis nye, såkaldte multivariable instrumenter, med indbyggede flowcomputere og mulighed for at måle på flere parametre. En af dem er Yokogawa's vortex-måler, som har en indbygget temperaturføler og flowcomputer, herved spares den traditionelle opsætning med ekstern temperaturføler og flowcomputer. Yokogawa har også lanceret en multivariabel dP-transmitter, som i form af sin digitale målecelle også kan måle det statiske tryk og med integreret flowcomputer og mulighed for temperatur input, kan denne bruges til både mættet og overhededet damp.

Myndighedskrav

Alle de omtalte systemer lever op til kravene fra Told & Skat mht. afregning af damp. Det skal dog tilføjes, at hvis der også skal tages højde for restvarmen i kondensatet, kan dette ikke gøres med de multivariable instrumenter. Der skal i stedet, bruges den traditionelle flowcomputer med indgang for dette.

Uanset hvilken løsning der vælges til energimålingen, er forudsætningen korrekt dimensionering af system og instrumenteringen. En forkert placering af instrumenter og forkert anvendelse i forhold til måleområder, har stor indflydelse på den samlede usikkerhed for målesystemet. Told og Skats krav på en samlet måleusikkerhed <4% skal overholdes for hele måleområdet. Målenøjagtigheden skal dokumenteres og valideres, samt der skal udføres periodiske verificeringer/kalibreringer. Manglende dokumentation og validering af målesystemer, har ført til skyhøje efterregninger for manglende afgifter.

Samarbejdspartner

Insatech kan hjælpe med denne dokumentation og validering af nye og eksisterende anlæg. Gennemgang af installationer for korrekt montage og placering, dimensionering af nye målesystemer, kontrol af sammenhængen imellem de enkelte instrumenters opsætning og styresystemets konfiguration, samt certificering og dokumentation overfor Told & Skat.

En af de opgaver, vi har løst, var på 5 år gamle dampmålinger på et kraftværk.

Parametre, der indgik i kontrollen:

1. Kontrol af installationsforhold omkring blænde.
2. Kontrol af installationsforhold omkring transmitter.
3. Kontrol af parametring af transmitter.
4. Kontrol af parametring af flowcomputer.
5. Kontrol af parametring af dataopsamling.
6. Beregning af fejl for samlet måling.
7. Beregning af usikkerhed for samlet måling.
8. Konklusion og forslag til forbedringer.

Vi har stor erfaring med gennemgang af installationer, og vi giver gerne et tilbud baseret på din specifikke installation/anlæg, da denne investering naturligvis skal indregnes i vores påstand om "Det der er sparet er nemmest tjent".

Vil du vide mere - så kontakt ...

Kristian Nielsen
tlf. 5535 8406
kn@insatech.com



Morten Kristensen
tlf. 5535 8431
mok@insatech.com



Lidt om os ...

Insatech A/S blev etableret i 1989 og har haft en positiv udvikling til i dag, hvor vi er over 40 medarbejdere, og betragtes som én af de førende indenfor instrumentering og automationsløsninger til industrien.

Vi har kontorer i nogle af Vordingborgs ældste huse, som vi har restaureret og forsøgt at bevare med det særpræg gamle huse har.

I 2005 blev vi en del af Addtech AB, Stockholm, Sverige.

Dette sikrer de nødvendige ressourcer for den planlagte vækst i et til stadighed konkurrencepræget globalt orienteret marked.

Ved at arbejde sammen på tværs i Norden med andre firmaer, og som en del af en meget større og kraftfuld organisation, har vi de nødvendige ressourcer til at sikre en positiv fremtid for Insatech A/S, vore kunder og leverandører.

I 2007 etablerede vi, som de første i verden, et professionelt kalibreringslaboratorie (DANAK akkreditering på kalibrering af ledningsevne måleudstyr).

Udover hovedkontoret i Vordingborg/Sjælland, har vi vore eksterne tekniske konsulenter placeret rundt om i landet.

Resten af teamet er samlet i Vordingborg/Sjælland – hvor vi kan sikre dig og din virksomhed en professionel indsats.

Vort salgs-, service- og systemteam består af dygtige medarbejdere, der har stor viden om hele vort produktprogram – og om applikationer og problemstillinger i alle brancher. Vi har altså altid en tekniker i nærheden – uanset hvor der er brug for os.

Som følge af vort mangeårige samarbejde med nogle af verdens førende producenter indenfor instrumentering og automation, er vi i stand til at yde en global service.

Vi arbejder som en professionel partner for vore kunder, vi tror på langvarige relationer, og er i stand til at levere kvalitetsprodukter, -løsninger og services indenfor måling, kontrol og kalibrering i stort set alle industrier og processer. Vore primære markeder er i fødevarer-, energi-, marine- og Olie & Gas industrien samt den pharmaceutiske industri, hvilket betyder, at vi har en høj viden om de branchespecifikke applikationer og de krav, der stilles til dokumentation i disse områder.

Vores primære kompetenceområder:

- Procesinstrumentering og kalibreringsudstyr
- Automation, kontrol og data aquisition
- System design, engineering og validering (DCS og sikkerhedssystemer)
- Service / vedligehold og kalibrering (ISO 17025 akkreditering)
- Site surveys og evaluering - procesoptimering baseret på bedre vedligeholdelsespraksis
- Marine- og skibsindustri løsninger – Cargo Management Systemer
- Projektledelse
- Flowrigge / kalibreringsrigge
- Specialfittings
- Produktforbedringer
- Trådløse løsninger til overvågning og kontrol
- Komplette løsninger incl. montage og opstart
- Seminarer og uddannelse



DANAK

CAL Reg. Nr. 484

Ledningsevne-, Temperatur- og Elektrisk kalibrering

Dette er en af en serie af informationshæfter produceret hos Insatech.

Øvrige hæfter kan ses på www.insatech.com

© Insatech A/S • Gengivelse af tekst eller uddrag af denne er tilladt med tydelig kildeangivelse.

Produktoversigt

Akkrediteret kalibrering:

Ledningsevne

Analyse af faste stoffer:

Fedt
Fugt
Protein

Analyse af gasser:

Ammoniak - NH₃
Fugt - H₂O
Ilt - O₂
Kuldioxid - CO₂
Kulilte - CO
Methan - CH₄
Saltsyre - HCl
Vand - H₂O

Analyse af væsker:

Celledensitet
Densitet
Farve
Ledningsevne
Koncentration
Kuldioxid - CO₂
Levende celler
Lydhastighed
NIR
Opløst ilt
pH
Plato
Protein
Refraktometri
Turbiditet
Tørstof
Viskositet

Flowmåling:

Afregningsgodkendt
Coriolis masseflow
Differenstryk
- blænde/pitotrør
Flowswiche
Magnetisk induktiv
Mekanisk
Rotametre V/A
Termisk masseflow
Ultralyd
Vortex

Flowmåling på faststof:

Mikrobølger

Kalibrering:

Flow
Temperatur
Tryk
Simulatorer

Kurser:

Aftales og opbygges efter behov og ønsker

Niveaumåling:

Elektromekanisk
Fortrængning
Hydrostatisk tryk
Kapacitiv
Konduktiv
Mikrobølger
Radar
Radiometrisk
Ultralyd
Vibration

Services:

Kalibrering:

Flow - gasser - væsker
Ledningsevne
pH
Temperatur
Tryk

Akkrediteret kalibrering:

Ledningsevne

Service:

Projektløsninger
Revision / periodisk vedligehold
Serviceydelser og eftersyn

Styring og systemer:

DCS Systemer
Shut Down & sikkerhedssystemer
MES systemer
Blending systemer
MID-løsninger

Temperatur:

Følere
Kalibratorer
Termostater
Transmittere

Trykmåling:

Absolut
Differens
Kalibratorer
Membranforsatse
Niveau
Pressostater
Relativ

Registrering og dataopsamling:

Dataloggere
Dataopsamlingssystemer
GPRS - trådløs overførsel
Liniestrukturer
Papirløse skrivere
Punktskrivere

Regulering:

Autotuning
Fuzzy-logic
Enkelt- og multi loop