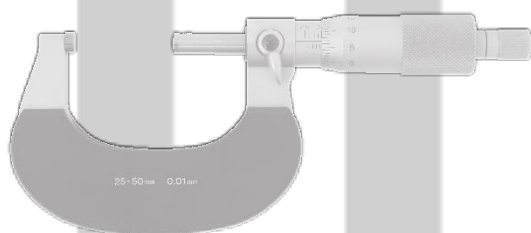


FLOWMÅLING I VÆSKER

UNDERVISNINGSELEMENT

F2

—
UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK

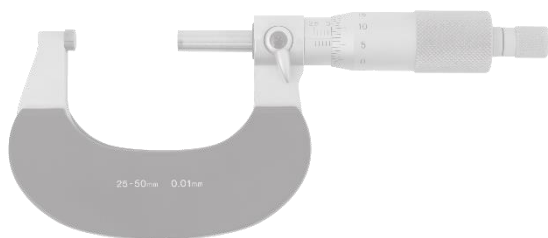


metrologi.dk

FLOWMÅLING I VÆSKER

Johan Bunde Kondrup og Erik Jensen, FORCE Technology

1. udgave – August 2018



Copyright © 2017 metrologi.dk – Materialet må ikke anvendes til kommercielt brug, uden tilladelse fra metrologi.dk.

Metrologi.dk er finansieret af Styrelsen for Forskning og Innovation i perioden 2016 – 2018. Materiale er udarbejdet i et samarbejde mellem GTS-institutterne DFM A/S, FORCE Technology og DELTA - a part of FORCE Technology.

Læs mere om projektet på www.metrologi.dk.

Parterne i Metrologi.dk kan ikke gøres ansvarlig for fejl og mangler i indholdet af undervisningsmaterialet eller i indholdet på websitet, samt indholdet i de eksterne dokumenter og websites, der linkes til, medmindre andet følger af dansk rets almindelige regler.

Grafisk design af: Henriette Schäfer Høyrup og David Balslev-Harder.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	1	4.2 Ringstempelmålere	10
Boks 1: Typer af væsker		4.3 Elektromagnetiske målere	10
2 Måling af flow	1	4.4 Ultralydsmålere	11
3 Flowmåling i rør	3	4.5 Coriolis flowmålere	13
3.1 Laminart og turbulent flow	3	4.6 Differencetryk flowmålere	14
3.2 Hastighedsprofiler	4	4.7 Vortex målere	14
Boks 2: Flowmåling i åbne kanaler		5 Kalibrering	15
3.3 Ideelle forhold og virkelige installationer	6	5.1 Kalibrering i laboratorie	15
3.4 Måleusikkerheden for virkelige installationer	6	5.2 Kalibrering på stedet	16
Boks 3: Legal metrologi og MID		5.3 Fortolkning af certifikater	17
4 Måleteknologier	9	6 Opsummering	19
4.1 Vingehjulsmålere	9		

1 Indledning

Flowmåling er at finde over alt og bruges blandt andet til at overvåge og styring af procesanlæg samt fastlægge afregningsmængder. For at flowmåling skal være troværdigt, så skal målesystemerne derfor vedligeholdes. Der bør således være et ønske om nøjagtig måling før det kan betale sig at installere en flowmåler.

Der anvendes ofte udtrykket flowmåler og flowmeter om samme måler. I dette dokument anvendes udelukkende udtrykket flowmåler. Ifølge den danske ordbog [1] er et (flow)meter et *instrument der måler noget bestemt* og en måler [2] et *apparat til at måle noget med*. Går man i detaljer med ordvalget, så køber man en flowmåler hos en producent og installerer denne som et flowmeter.

Fra vandingsanlæg opbygget af akvædukter og reservoarer for 1000 år siden til køleanlæg i atomkraftværker har flowmåling været med til at sikre fødevarer, energi og sikkerhed. Mange teknologier har været brugt til at måle flow, hvoraf noget stadig benyttes mens andre teknologier er udgået, og stadig nye teknologier opfindes. Dette undervisningselement vil gennemgå de grundlæggende principper omkring flowmåling, samt give en redegørelse for de mest anvendte teknologier til flowmåling. Der vil udelukkende blive tale om flowmåling på newtonske væsker i lukkede systemer, hvor trykket er væsentligt højere end damptrykket.

2 Måling af flow

Flowmåling betyder måling af stoffer i bevægelse. Det kan være gasser, væsker, faste stoffer (i pulverform, f.eks. korn) eller en blanding af flere faser og/eller stoffer.

Når der måles på væsker er det vigtigt både at have kendskab til hvilken væske man måler på, samt at have taget stilling til hvilke måleenheder og usikkerhed som er nødvendige for at kunne bruge målingen til det ønskede formål. Ingen af de forskellige teknologier anvendt til flowmåling vil være i stand til at måle på alle medier, med alle output enheder og med lav usikkerhed. Nogle flowmålere er designet til at

Boks 1: Typer af væsker

Når udtrykket *væske* anvendes, så opfattes dette ofte som noget lignende vandhanevand.

Væsker kan opdeles efter hvorledes viskositeten varierer. Forestil dig at du har en beholder med en væske, som du rører rundt i. Drikkevand er i gruppen af de *newtonske* væsker, som er kendetegnet ved at væskens viskositet kun varierer som funktion af temperatur. Vandet bliver derfor ikke mere trægt at røre rundt over tid eller hvor hurtigt der røres rundt.

Gruppen af *ikke-newtonske* væsker er derimod kendetegnet ved at viskositeten også kan variere over tid eller som følge af påvirkningen.

Pseudoplastiske væsker – f.eks. ketchup – er kendetegnet ved at væsken bliver mindre trægt, jo hurtigere der røres rundt. Ryst derfor ketchupflasken kraftigt, hvis du vil have noget ud hurtigt. For *dilatante* væsker sker det modsatte. Jo hurtigere der røres, jo mere trægt bliver væsken. Et eksempel er en blanding af majsstivelse og vand.

Tixotropiske og reopektiske væsker er betegnelsen for en væske, hvor trægheden stiger eller falder over tid. Væsken kan samtidigt være en pseudoplastisk eller dilatant væske. Ketchup er et eksempel på et tixotropisk væske, som når flasken er rørt virker tyndtflydende men ved stilstand efter lidt tid igen bliver trægt.

Væsker kan også opdeles ud fra antallet af faser, hvor 2 eller flere typer af væsker indgår i det strømmende medie. Et eksempel på multifase er en blanding af vand og olie. Hver for sig opfører disse sig som newtonske væsker men sammen vil væsken ikke kunne betragtes som en newtonsk væske. Multifase omfatter også hvor den ene fase er gas. Gas er i sig selv også newtonsk.

For nogle måleteknikker er det nødvendigt at væsken har en ledningsevne (elektromagnetisk flowmeter) og andre at de ikke virker lyddæmpende (visse gasarter virker lyddæmpende, hvorfor en ultralydmåler vil være mere unøjagtig).

Der henvises til søgning på internettet og ikke mindst youtube for illustration af de forskellige typer af ikke-newtonske væsker.

Tabel 1 Symbol forklaring

Symbol	Målestørrelse	Enhed (kan være en faktor af denne enhed)
$\dot{v}$	Volumenflow	l/s
$\dot{m}$	Masseflow	kg/s
ρ	Densitet	kg/l
c	Strømningshastighed - middelværdi	m/s
A	Areal	m ²
D	Indre diameter	m
η	Dynamisk viskositet	kg/(m * s)
ν	Kinematisk viskositet	m ² /s
E	Spænding	V
B	Magnetfeltsdensiteten	Wb/m ²
L	Længde af leder	m
k eller K	Konstant	-
C	Lydens hastighed i mediet	m/s
T_{x-y}	Tid fra X til Y	s
θ	Vinkel	-
f_d	Doppler frekvens	Hz
f_t	Transmitter frekvens	Hz
K_u	Elastisk modulus	N/mm ²
I	Inertimoment (afhængig af udformning)	kg * m ²
ω	Vibrationsfrekvens	Hz
τ	Tidskonstant	s

måle stoffets hastighed, andre dets volumen mens andre måler massestrømmen.

Resultaterne fra f.eks. en masseflowmåler kan omregnes til volumenflow eller hastighed og omvendt. Men en sådan omregning vil altid være pålagt en vis usikkerhed.

Man kan omregne et masseflow til et volumenflow hvis man kan bestemme densiteten af stoffet ved at benytte ligning 1.

Ligning 1:

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Densiteten af en væske er afhængig af temperatur og tryk. Så usikkerheden af denne omregning vil være afhængig af hele målesystemet. Det kan derfor være vigtigt at designe målesystemet med den rette flowmåler for at minimere den overordnede usikkerhed. De samme usikkerheder er også gældende ved omregning fra volumenflow til masseflow.

Laves der for eksempel en omregning fra masseflow til volumenflow på en måling af vand ved en målt temperatur på 50 °C, skal der regnes med en densitet på 0,98805 kg/l hvorimod hvis den faktiske temperatur er 52 °C vil densiteten være 0,98713 kg/l. Dette vil resultere i en fejl på 0,92 g/l svarende til en fejl på 0,09 %. Denne usikkerhed vil være større hvis densiteten på væsken der måles på har en mere temperaturafhængig densitet.

Mange flowmålere der indikerer et volumenflow benytter fysiske principper til at bestemme flowets hastighed. Ved at kende hastigheden og samtidigt kende målerens indre areal med høj præcision kan måleren udregne volumenflowet. Ved udregning af volumenflow fra hastighed og indre dimensioner indføres der således igen usikkerheder i forbindelse med nøjagtigheden af de dimensionsmålinger der ligger til grund for det indre areal. Derudover er det vigtigt at huske at et rør er fremstillet af fleksible materialer og dermed udvider sig med temperaturen og trykket. Geometrisk måling foretages (næsten) aldrig ved væskens temperatur og tryk under drift.

Ligning 2:

$$\dot{v} = c * A \rightarrow c = \frac{\dot{v}}{A}$$

Har man for eksempel en måler med en indre diameter på 25 mm. og en flowhastighed på 2 m/s vil volumenflowet være:

$$\begin{aligned}\dot{v} &= 2 \text{ m/s} * \left(\frac{0,025 \text{ m}}{2} \right)^2 * \pi \\ &= 0,000982 \text{ m}^3/\text{s} \text{ eller } 3534,29 \text{ l/h}\end{aligned}$$

Hvis diameteren i virkeligheden er 24,75 mm. vil flowet være 3463,96 l/h og det beregnede volumenflow vil derfor være ca. 2 % højere end det faktiske volumenflow.

3 Flowmåling i rør

Der differentieres mellem flowmåling i lukkede systemer og flowmåling i åbne kanaler. I dette undervisningsselement vil der blive fokuseret på måling i lukkede systemer, for yderligere information om åbne kanaler se boks 2.

For at en måling kan foretages korrekt skal flowmåleren være væskefyldt og for nogle teknologier skal hastighedsprofilen i væsken være så tæt på ideel som muligt. For at sikre sig den mest ideelle hastighedsprofil skal flowforstyrrelser inden flowmåleren undgås. En flowforstyrrelse kan være en bøjning, en ventil, en indsnævring eller andet der forstyrrer flowet. Nogle teknologier er mere overfølsomme over for



Figur 1: Laminart flow

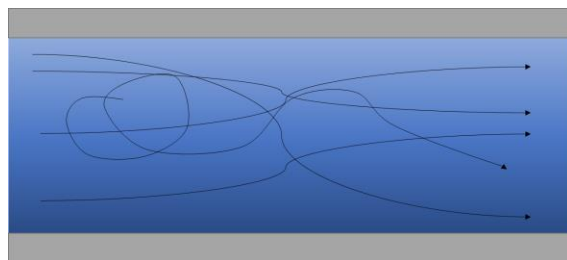
flowforstyrrelser, så hvis forstyrrelserne ikke kan undgås skal disse også medtænkes i projektering af en målerinstallation. Mere om det i afsnit 3.4.

3.1 Laminart og turbulent flow

Laminart flow betegner et flow hvor flowet i røret foregår i lag, uden udveksling i mellem lagene. Væsken bevæger sig som en samlet, ensformig masse. Laminart flow forekommer ved lave hastigheder. Figur 1 viser et laminart flow, hvor hver pil repræsenterer væskens bevægelse.

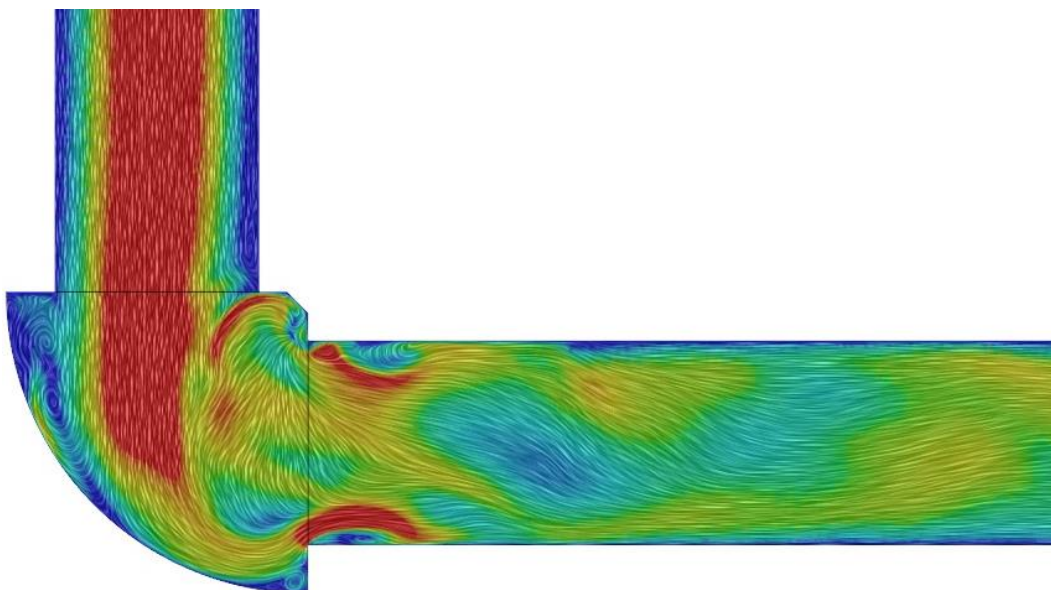
Bevægelsen i laminart flow er ensformig og konstant. Den enkelte partikel bevæger sig i samme retning som alle andre partikler, og de lokale hastigheder i flowet er ensformige.

Turbulent flow betegner et flow, hvor den enkelte vandpartikels bevægelse bedst kan beskrives som ustabil bevægelse overlejret på den aksielle hastighed. Vandpartiklerne her altså et mere kaotisk bevægelsesmønster. Turbulent flow opstår typisk ved høje flowhastigheder. Ved turbulent flow sker der



Figur 2: Turbulent flow

således en udveksling i på tværs af strømningslagene, hvilket betyder at det fuldt udviklede hastighedsprofil er mere ensformigt, eller fladt.



Figur 5: Flowforstyrrelses påvirkning på hastighedsprofil

I både laminart og turbulent flow kan der forekomme recirkulation, hvor strømmingen separerer omkring flowforstyrrelser og danner hvirvler. Men hvis det efterfølgende rørstykke er tilstrækkeligt langt, så vil hastighedsprofilen overgå til det fuldt udviklede hastighedsprofil og recirkulationer vil være forsvundet.

Det kan bestemmes om flowet er turbulent eller laminart ved at udregne Reynolds tallet, se Ligning 3.

Ligning 3:

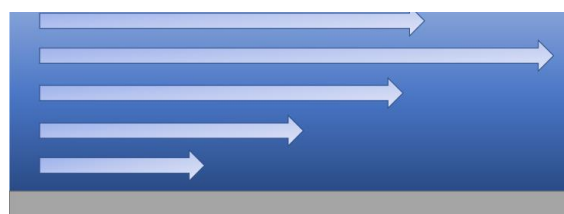
$$Re = \frac{\rho c D}{\eta} = \frac{c D}{\nu}$$

Reynolds tal er en sammenhæng mellem hastighed, rørets dimension og væskens viskositet. Hvis Reynolds tal er under 2300 er flowet laminart. Hvis tallet er over 3000 er flowet turbulent og hvis flowet er i mellem 2300 og 3000 [3] er det i et overgangsstadie hvor det kan være både laminart og turbulent.

3.2 Hastighedsprofiler

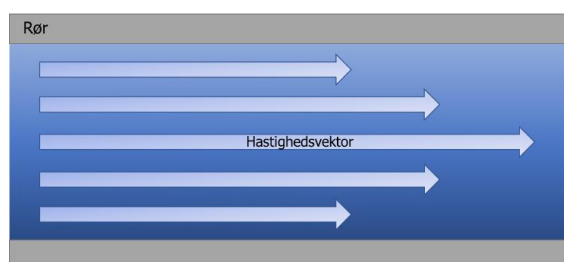
Hastighedsprofilen i en væske der flyder i et rør viser en indikation af hvor hurtigt væsken flyder i relation til afstand til rørvæggen. Hastigheden stiger gradvist fra kanten af røret til centrum af røret.

Dette skyldes friktion mellem rørets væg og væsken. Gradienten af hastighedsforøgelse fra rørets væg til centrum af røret afhænger af væskens viskositet. Fi-



Figur 4: Asymmetrisk hastighedsprofil

gur 3 viser en fuldtudviklet flowprofil. Her er hastigheden højest i centrum og symmetrisk i alle retninger. Hvis flowet er laminart er hastighedsprofilen mere spids end ved turbulent flow, der er altså større variation fra rørets væg når der ikke er udveksling mellem lagene, se Figur 6.



Figur 3: Fuldtudviklet flow

Figur 4 viser en asymmetrisk flowprofil. Her er hastigheden højere i den øverste del af røret. Asymmetriske flowprofiler i et homogent medie forekommer på grund af forstyrrelser af flowet. Figur 5 viser flowet igennem en gevindsamling. Inden samlingen er

Boks 2: Flowmåling i åbne kanaler

Med betegnelsen lukkede kanaler er det ofte underforstået at kanalen er helt fyldt med væsken. Hvis den ikke er fyldt – for eksempel et delvist fyldt kloakrør eller et rør med lagdeling af gas og væske – så betegnes strømningen enten som multifase strømning eller som strømning i en åben kanal.

Teknikker til flowmåling i lukkede rør kan også anvendes i forbindelse med flowmåling i åbne kanaler. Den generelle teknik er her at foretage en flowmåling (hastighed) på forskellige dybder og afstande til vægge hvorefter volumenstrømmen fastlægges ved at sammenkoble det geometriske tværsnit og de målte flow hastigheder.

Som det kendes fra vandløb, så stiger vandstanden i en kanal når der strømmer meget vand igennem sammen. Dette kan udnyttes til måling i åbne kanaler. Hvis der i kanalen er placeret en delvis blokering (fra bunden), så vil højden af vandet over denne blokering være en funktion af vandmængden. Højden kan måles via radar teknologi.

Der henvises til søgning på internettet for yderligere information om flowmåling i åbne kanaler.

hastighedsprofilen tilnærmelsesvis fuldtudviklet. Efter samlingen er der en mere kaotisk profil med roterende udveksling.

Tryktabet i en rørstrømning er udtryk for energitabet i strømningen, som skyldes friktion imellem rørvæg og væsken samt den indre friktion i væsken som følge af turbulensen. For en uendelig lang rørstrækning vil flowprofilen altid opnå et stabilt niveau idet dette er udtryk for laveste energitab i strømningen. Længden på den nødvendige rørstrækning til oprettelse af det endelige hastighedsprofil afhænger af forstyrrelsens type.

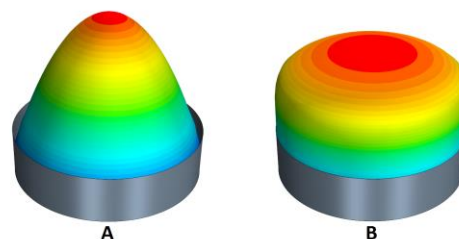
Forstyrrelsen fra en simpel rørbøjning vil normalt være væk efter 30-40D (1D = En gange rørets diameter omregnet til længde). Den roterende strømning såsom nedstrøms for en dobbelt rørbøjning i 2 planer antages ofte at være væk efter 40D men er observeret mere end 150D nedstrøms.

I praksis vil 10D være nok for de fleste måleinstallationer og 15D for mere følsomme flowmålere. Dette skyldes at recirkulationer er energikrævende og dermed hurtigt dæmpes ud af en væskestrømning, hvorefter den helt lange rørstrækning bruges til at omforme det aksielle hastighedsprofil til det ideelle profil.

Etablering af en laminar strømning kræver ligeledes en længere strækning end turbulent strømning, da overførsel af energi imellem væsken i centret af røret og væsken ved væggen sker ved friktion imellem lag af strømmende væske og ikke turbulens.

Den nødvendige rørlængde for et fuldtudviklet flow startende med et helt fladt hastighedsprofil er for et

laminart flow ca. $0,05 \cdot Re$, hvilket ved $Re=2300$ svarer til 115D. For turbulent flow angives en længde på



Figur 6: A: Hastighedsprofil for laminart flow. B: Hastighedsprofil for turbulent flow. Begge illustrationer er med dimensionsløs hastighed, samt forskellige forhold mellem middelhastighed og tophastighed.

150D [4].

Som det fremgår af Figur 6 er flowprofilen mere flad ved turbulent flow end ved et laminart flow. Dette skyldes den indre udveksling af energi i mediet, og er årsagen til at et laminart flow tager længere om at blive fuldt udviklet end et turbulent. Det flade flowprofil ved turbulent flow er mere ideelt for visse måleteknologier end den spidse profil ved laminart flow. Mere om dette i afsnit 4.

Der er en række redskaber man kan bruge til at korrigere for asymmetriske flowprofiler, samt flow rotation og recirkulation. Her kan blandt andet nævnes plade straighteners eller rør straighteners.

3.3 Ideelle forhold og virkelige installationer

De ideelle forhold for en måler eksisterer ikke i virkeligheden. Det ideelle forhold omfatter foruden fuld kontrol af væskens homogenitet, tryk, temperatur og flowprofil også at der er kontrol på de omgivende forhold såsom lufttryk, temperatur og fugtighed. Hertil kommer tekniske forhold såsom at væsken skal være pulsationsfri og at nogle måleteknologier ydermere kræver fuld kontrol over indspændingsforhold og vibrationsniveau. I kalibreringslaboratorier tilstræbes det at komme så tæt på ideelle forhold som muligt, men da måleren sjældent skal fungere ved ideelle forhold kan det i visse tilfælde være nødvendigt at kalibrere måleren i den installation den sidder i, dette kaldes en on-site kalibrering og vil blive forklaret i afsnit 5.2.

Usikkerhedsbudgettet er en vigtig parameter ved valg af flowmåler og/eller hvor der ønskes etableret et målepunkt. Ikke blot forskellige teknologier men også forskellige målere baseret på samme teknologi vil have forskellige bidrag til måleusikkerheden. Databladet for det enkelte produkt vil give værdifuld information om dette emne. Dette er uddybet i næste afsnit.

Boks 3: Legal metrologi og MID

For at sikre den nødvendige tillid til måleresultater hos forbrugerne, værende private eller virksomheder, er der opstillet krav til kontrol og verifikation af måleudstyr. I Danmark er disse krav fastsat og administreret af Sikkerhedsstyrelsen.

Det drejer som målinger der benyttes til forbrugsafregning mellem en leverandør og en kunde, samt målinger der danner baggrund for skatter og afgifter.

I EU er der et samlet direktiv kaldet Måleinstrument Direktivet eller MID (eng. Measuring Instruments Directive), som danner baggrund for standardisering af måleinstrumenter i EU. Dette medfører også at hvis et instrument er godkendt i et EU land, kan det benyttes i alle EU lande.

Det er organisationen WELMEC der står for at harmoniserer standarderne i EU.

Typogodkendte målere – for eksempel i henhold til MID (Måleinstrument direktivet, se boks 3) – godkendes på baggrund af en maksimal angivet usikkerhed under fastlagte forhold. Kun når strømningsforholdene er tilsvarende kan man forvente at målingerne er indenfor måleusikkerheden angivet i MID.

3.4 Måleusikkerheden for virkelige installationer

Mange reklamer for flowmålere indeholder ofte en direkte eller indirekte henvisning til flowmålerens usikkerhed. Denne angivelse er dog ikke fyldestgørende, da producenten ikke kan forholde sig til hvorledes køberen anvender flowmåleren.

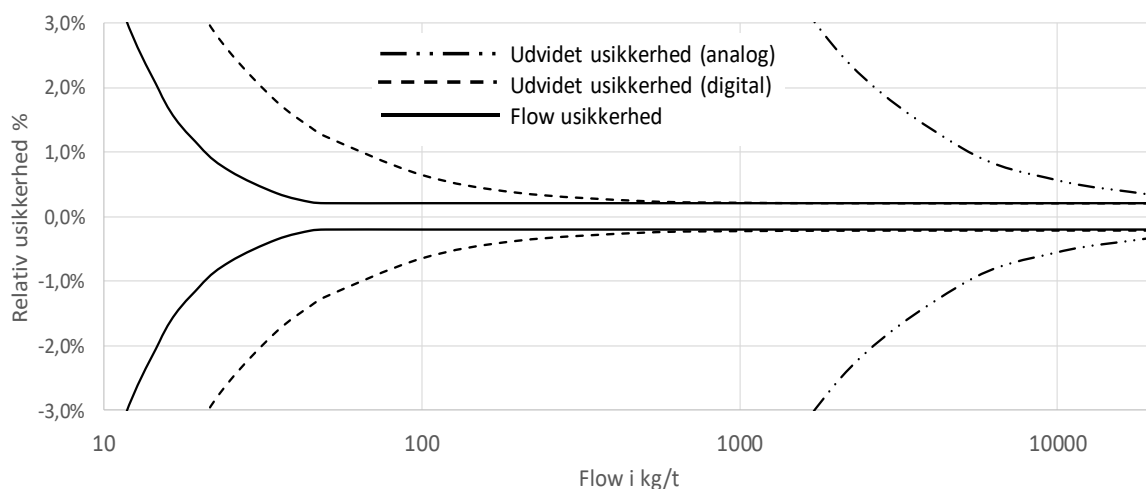
Det er derfor vigtigt at undersøge specifikationen nærmere samt vurdere målepunktets sammensætning for at kunne vurdere den samlede måleusikkerhed. Dette omfatter hele signalkæden.

Coriolis målere er kendt som noget af det mest nøjagtige flowmåleudstyr. Der tages derfor udgangspunkt i en installation af en Emerson Elite F200S(Z) måler til fastlæggelse af flowrater indenfor intervallet 0-20.000 kg/t. Der måles på vand med tryk på ca. 5 barg og med 30 °C.

Databladet PS-00603, rev. Y, angiver for denne måler at målenøjagtigheden er 0,2% af aktuel flow eller usikkerheden grundet nulpunktsstabiliteten på $\pm 4,35$ kg/t. Begge værdier gælder for et 95 % konfidensniveau. Med småt er ligeledes skrevet at usikkerheden gælder for 1 barg og 20 °C. Der skal derfor anvendes korrektionen for tryk og temperatur.

For tryk angives en usikkerhed på -0,015 % af aktuel flowrate per barg. Dette er en ensidig afvigelse, som skyldes at trykket medvirker til en afstivning af målesystemet og dermed reducerer måleværdien. Temperaturfølsomheden er $\pm 0,0007$ % af maksimalt flow. Begge skal ifølge databladet kunne elimineres ved nulpunktskontrol ved procestilstanden. I denne sammenhæng antages at der ikke er foretaget nulpunktjustering ved procestilstand men i stedet ved laboratorietilstanden.

Signalet fra flowmåleren er et ældre mA link, som konverteres til digitale data via en I/O kort med 0,2 %



Figur 7: Beregnet måleusikkerhed med hhv. analog og digital kommunikation imellem flowmåler og kontrolstavle.

af værdi ved 20 mA. Dette gælder dog kun når I/O kortet er ved 25 °C omgivelser. I/O kortet sidder dog et sted, hvor temperaturvariationen kan være ± 15 °C. For dette angives yderligere $\pm 0,004$ % af flowet ved 20 mA for hver grad temperaturændring.

Usikkerhederne fra flowmåleren, temperaturen og datalink antages at være indbyrdes uafhængige usikkerheder. Usikkerheden som følge af trykniveauet er en ensidet usikkerhed og medtages derfor kun ved beregning af nedre konfidensniveau

Usikkerhedsberegningen består derfor af følgende bidrag (enhed i kg/t):

Flow: største værdi af 0,2 % af flowrate eller 4,35 kg/t divideret med aktuel flowrate. Divideres med 2 for at opnå standardusikkerhed.

Tryk: -0,015 % af flowrate divideret med 2 for at opnå standardusikkerhed. Anvendes kun til beregning af negativ usikkerhedsinterval.

Temperatur: 0,0007 % af maksimal flowrate som for F200S er 87.500 kg/t. Denne divideres med 2 for at opnå standardusikkerhed.

mA link: $(0,2 \% + 15 \cdot 0,004 \%)$ af flowrate ved 20 mA. Divideres med 2 for at opnå standardusikkerhed.

I Excel foretages nu en beregning for forskellige flowrate. Den kombinerede standardusikkerhed findes som kvadratroden af de kvadrerede usikkerhedsbidrag.

Omregning til usikkerhed med 95% konfidens foretages ved at multiplicere med 2.

Figur 7 viser resultatet i form af usikkerheden ved forskellige driftspunkter. Ud over kurven angivet fra producenten er der også vist kurver med analog eller digital dataoverførsel. Den analoge datakæde har de største usikkerheder som følge af I/O kortets usikkerhed som igen primært skyldes den indbyggede A/D omsætning.

Kurven for digital dataoverførsel omfatter udelukkende det ekstra usikkerhedsbidrag fra tryk og temperatures påvirkning.

Som det må forventes vil valg af datakommunikation kunne have stor betydning for måleusikkerheden – specielt ved lave flowrater.

For andre typer af flowmålere vil der også være et bidrag til usikkerheden fra hastighedsprofilet i røret. Størrelsen af disse afhænger af installationsforholdene samt type af flowmålere. Der vil ofte kunne findes standarder som angiver hvilke usikkerhedsbidrag, som skal medtages for den enkelte type af måler.

For MID godkendte flowmålere gælder at de er type-godkendte ud fra krav til målenøjagtighed ved standardiserede forsøgsopstillinger. Dette betyder ikke at de altid vil måle indenfor den MID angivne tolerance. Selv om der er indkøbt en MID godkendt flowmåler, så skal der fortsat laves en usikkerhedsberegning for at vurdere om målingen af tilstrækkeligt troværdig.

UE A6 skriver om signalkæder. UE A3 omhandler usikkerhedsberegninger i detaljer. Der henvises derfor til disse dokumenter for yderligere information om emnet.

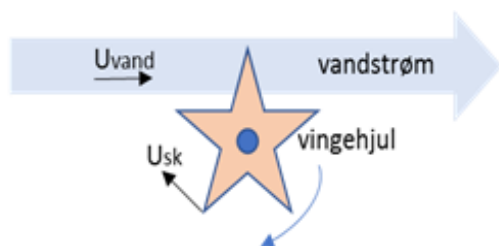
4 Måleteknologier

Der findes et utal af forskellige måletyper der benytter forskellige måleprincipper. Grundlæggende er der mekaniske målere og elektroniske målere. Mekaniske målere drives af det væskeflow der løber igennem måleren og behøver derfor ikke en strømforsyning for at fungere. Der er et større udbud af elektroniske målere. En elektronisk måler er opbygget af flere dele, hvoraf nogle af delene også kan udnytte mekaniske principper til at måle flowet. Den del der er i kontakt med væsken kaldes transduceren. Transduceren skaber et signal som afhænger af flowet gennem måleren. Det signal sendes videre til en transmitter. Transmitteren kan på baggrund af signalet bestemme flowet via en flowcomputer eller videresende det rå signal. Transmitteren kan også indeholde en display enhed der kan vise operatøren det aktuelle flow, en optalt masse eller volumen samt andre beregnede værdier.

4.1 Vingehjulsålere

Vingehjulsålere er mekaniske målere der virker ved at have et vingehjul i strømningsarealet. Flowet igennem måleren får vingehjulet til at rotere.

Vingehjulet er forbundet til en tællemekanisme der tæller antallet af hjulets rotationer som svarer til et bevidst volumen der har strømmet gennem måleren.



Figur 8: Principtegning for en vingehjulsåler.

Vingehjulsålere er en lavpraktisk måde at måle flow på, og bruges ofte til forbrugsafmåling af vand i private husstande. Målingen kan aflæses manuelt eller med optiske øjer der aflæser antallet af rotationer. Grundet relativ høj usikkerhed ($\pm 2\%$) bruges vingehjulsålere ikke i industri eller kontrolsystemer.

På Figur 9 ses tællerværket på en vingehjulsåler. Måleren tæller kubikmeter med 4 decimaler. Den sidste decimal er ydermere opdelt i hele og halve værdier. Så nøjagtigheden af denne målers visning er 0,1 liter $\pm 0,05$ liter.

En vingehjulsåler padler i vandet, hvorfor hurtige start og stop af væskestrømmen ikke samtidigt betyder tilsvarende hurtige start/stop af tællerværket. Det kan sammenlignes med en kano sejler, hvor bådens hastighed ændres ved at bevæge pagajen enten hurtigere eller langsommere end kanoens relative bevægelse i forhold til vandet.



Figur 9: Tællerværk på en vingehjulsåler. Måleren viser kubikmeter, men også faktor 1/10, 1/100, 1/1000 og 1/10000 her af.

Tages pagajen op af vandet, så aftager hastigheden langsomt. Så længe der bevæges vand igennem et vandur, så er det denne som kontrollerer vingehjulets bevægelse. Når vandet pludseligt lukkes, så roterer paddelhjulet videre og aftages kun med den interne friktion.

Ved mange små aftapninger vil efterløbet således betyde at der måles for meget vand i forhold til de faktiske mængder.

Derudover vil mekanisk slid eller belægninger betyde at vingehjulet ikke rotere med samme lethed som ved ny og dermed enten måler for lidt eller simpelt hen intet. Dette kan være problematisk da vingehjulsålere sjældent aflæses, samt det ikke er muligt for måleren at alarmere ejeren ved fejl.

4.2 Ringstempelmålere

Ringstempelmåleren er af typen volumetrisk-mekanisk måler (eng. *positive displacement meter*). I modsætning til en vingehjulsmåler, så består den roterende del af mindst 2 eccentricke dele udformet således at der foretages måling på et lukket volumen. Systemet kendes også fra olietankbiler.

Fordelen ved teknikken er at vandstrømmen skal igennem pumpesystemet og vil være tæt på uafhængig af opstrømsforhold, da der bruges lukkede volumener. Trykfaldet over måleren bruges til at drive måleren. Der benyttes ofte samme tælleværk til ringstempelmåleren som på en vingehjulsmåler.

Ringstempelmålere har nogenlunde samme nøjagtighed som vingehjulsmålere, derfor ser man dem heller ikke brugt i industrien. Ringstempelmåleren kan aflæses manuelt eller med optiske øjer. En ulempe ved mekaniske målere er at der kan optræde mekanisk støj, som kan være forstyrrende – specielt hvis der er tale om husstandsmålere.



Figur 10: Øverst til venstre: Skallen af måleren, flowretning fra vestre til højre. Nederst til venstre: Afskærmning fra indgang til udgang af måleren med filter i indgangssiden. Til højre: Ringstemplet i to forskellige positioner.

Figur 10 viser indmaden fra en ringstempelmåler som har været brugt til forbrugsmåling af vand i en privat husstand. Ringstemplet som ses på de to billeder til højre på Figur 10 bevæger sig i mod urets retning.

Denne rotation er drevet af flowet igennem måleren, og hver rotation svarer til et specifikt volumen.

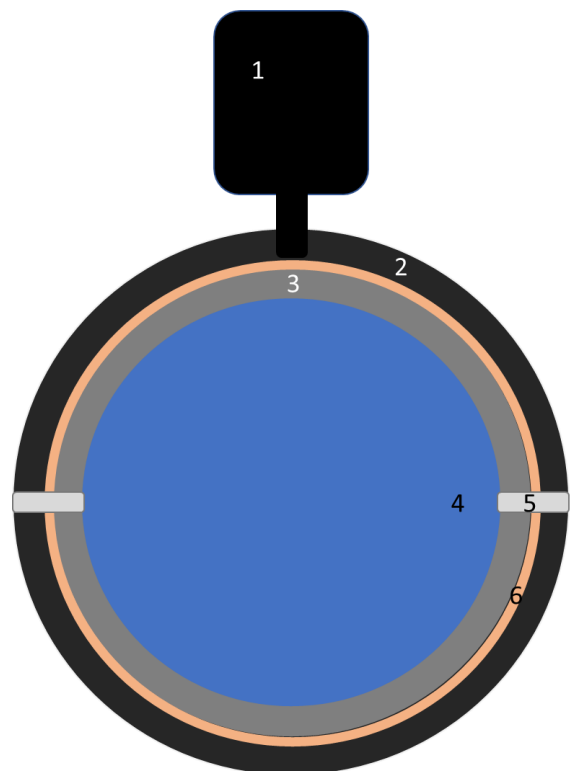
4.3 Elektromagnetiske målere

Elektromagnetiske målere, også kaldet MAG-målere (Magnetisk), er en volumenmåler der udnytter væskens elektroniske ledningsevne til at måle hastigheden den bevæger sig ved. MAG-målere har været kommercielt tilgængelige siden 1950'erne og udnytter principperne fra Faradays lov om elektromagnetisk induktion. Grundlæggende kan loven skrives som:

Ligning 4:

$$E = k * B * L * c$$

Ligning 4 påviser at der genereres en spænding når en leder passerer igennem et magnetfelt. Denne spænding afhænger af magnetfeltets densitet, længden af



Figur 11: Principtegning af MAG-måler. 1 – Transmitter, 2 – Ydre beklædning, 3 – Liner, 4 – Gennemstrømningsareal, 5 – Elektroder, 6 – Magnetfeltets genererende spole.

lederen samt hastigheden af lederen.

Den elektromagnetiske spole danner et magnetfelt over gennemstrømningsarealet. Når væsken strømmer igennem måleren virker den som leder og derved genereres der en spænding. Denne spænding kan måles med et elektrodepar der sidder på hver side af måleren. Indersiden af måleren skal beklædes med en ikke ledende liner så spændingen ikke ledes ud i resten af rørsystemet. Densiteten af magnetfeltet er specificeret for hver målertype/størrelse. Længden af leden er afstanden mellem elektroderne. Derved er hastigheden på væsken den eneste variable der resterer i Ligning 4.

MAG måleren er en volumetrisk måler, idet flowprofiler $-4D/+4D$ fra centerplanet af måleren bidrager til etablering af det inducerede elektromagnetiske felt. Dette betyder også at en kort elektromagnetisk måler er følsom overfor om det tilsluttede rør har en elektrisk ledende eller isolerede overflade. Ligeledes vil belægninger så som magnetit (elektrisk ledende) kunne påvirke nøjagtigheden.

Fordelene ved en MAG-måler er at der stort set ikke er tryktab over måleren, samt at den ikke er følsom over for hverken tryk, temperatur, viskositet eller densitet. Ulemperne er at det er et krav at væsken er elektrisk ledende og at overfladerne er uden elektrisk ledende belægninger samt at prisen for måleren er relativt høj.

Der findes mange producenter af MAG-målere i forskellige prisklasser. Ens for MAG-målerne er deres usikkerhed inden for deres flowområde ofte ligge omkring $\pm 0,2-0,1\%$. De forskellige varianter kan have forskelligt dynamikområde (det flowområde som måleren er designet/godkendt til), have forskellige linere der er mere eller mindre hårdføre, have forskellige transmittere og strømforsyning. MAG-målere kan konfigureres i et utal af måder med forskellige kommunikationsprotokoller. Udefra kommende magnetfelter kan have indflydelse på målerens nøjagtighed. Desuden skal det sikres at måleren er ordentlig jordet, da dette ellers kan medføre store fejlvisninger.

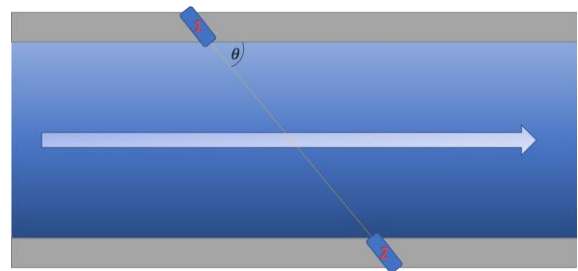
4.4 Ultralydsmålere

Der findes to principper til at måle volumenflow ved brug af ultralyd.

Den første udnytter lydens hastighed gennem vandet og kaldes på 'Time of Flight' (ToF) metoden eller transittidsmetoden. Ved ToF sendes en lydimpuls gennem gennemstrømningsarealet.

Pulsen sendes fra en transducer og registreres af en anden transducer. Tiden fra afsendelse til modtagelse kan derefter bruges til at beregne flowhastigheden.

Først sendes der et signal fra transducer 1 til transducer 2, og derefter omvendt. Begge transducere fungerer også som sensorer og kan derfor både afsende og modtage signal. De består af piezoelektriske krystaller. Disse krystaller har den egenskab at når de udsættes for en elektrisk spænding udsender de en mekanisk energi i form af et ultralydssignal. Det samme er gældende modsat, når de udsættes for en mekanisk påvirkning generer de en elektrisk spænding.



Figur 12: Principtegning af en ToF ultralydsflowmåler. 1 – Opstrøms transducer, 2 – Nedstrøms transducer.

Når transducer 1 således påvirkes af en elektrisk spænding udsender den et signal der opfanges af transducer 2. Tidsforskellen fra transducer 1 modtager det elektriske signal til transducer 2 afgiver det elektriske signal registreres og kaldes 'Time of Flight' eller transittid. Her efter gentages signalet i den modsatte retning. Transducer 2 påvirkes af en elektronisk spænding og sender et ultralydssignal til transducer 1 og tidsforskellen registreres igen. Transittiden fra transducer 1 til 2 vil være kortere en fra 2 til 1. Dette skyldes at lyden bevæger sig hurtigere når den bevæger sig i flowets retning end når den bevæger sig imod flowretningen. De to forskellige transittider kan så benyttes til at beregne flowhastigheden i røret.

Ligning 5

$$c = \frac{C^2 * (T_{1-2} - T_{2-1}) * \tan\theta}{2 * D}$$

Når flowets hastighed er kendt kan volumenflowet udregnes.

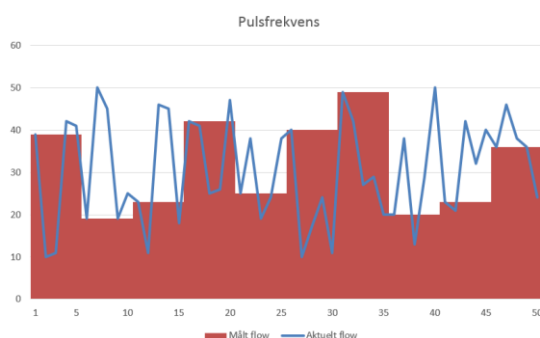
Den anden metode til at måle flow med ultralyd kaldes Doppler metoden og udnytter Doppler effekten. Ved Doppler metoden udsendes der også en ultralydsstråle i en vinkel til flowretningen. Ultralydsstrålen reflekteres via partikler, bobler eller hvirvler i flowet og returneres til en sensor. Den afgivne ultralydsstråle har en anden frekvens end den returnerede ultralydsstråle. Dette skyldes Doppler effekten og den returnerede frekvens kaldes derfor Dopplerfrekvensen. Ved at måle den transmitterede frekvens og den returnerede Dopplerfrekvens kan flowhastigheden udregnes.

Ligning 6

$$c = \frac{f_d * C}{2 * f_t * \cos\theta}$$

Igen kan volumenflowet beregnes når hastigheden og tværsnitsarealet af måleren er kendt.

En ToF måler viser et øjebliksbillede af flowet i måleren. Tidsforskellen fra T_{1-2} til T_{2-1} kan kun bruges til at eftervise hvad der sker i det øjeblik mellem signalerne er afsendt og modtaget. Det er derfor nødvendigt at kende målerens pulsfrekvens (sample rate) for at fastslå nøjagtigheden.

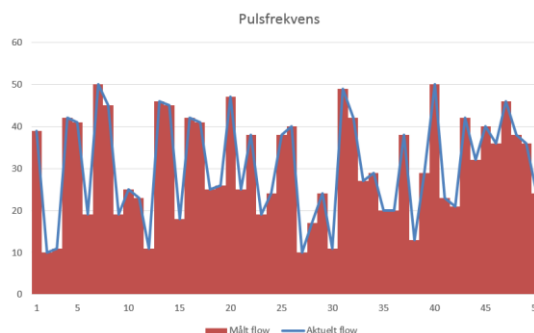


Figur 13: Sammenligning mellem kontinuerlig flowmåling (blå) og måling via øjebliksværdier (rød). Pulsfrekvens: 1 puls pr. 5. sekund.

Figur 13 viser et eksempel på en flowmåling foretaget med ToF hvor der samples hver 5. sekund. Arealet under kurven er det aktuelle flow, mens det røde areal viser hvad måleren registrerer. De områder hvor arealet under kurven er hvidt indikere at måleren registrerer for lidt, mens de områder hvor arealet over kurven er rødt måles der for meget. Denne type måling med lave sample rates benyttes primært i batteridrevne husstands vandmålere da svingninger i vandforbruget er minimale, samt at nøjagtigheden af måleren er mindre vigtigt sammenlignet med anskaffelsesprisen.

Hvis man øger pulsfrekvensen til en gang i sekundet får man et noget mere præcist billede. Figur 14 viser langt større overensstemmelse mellem det aktuelle flow og det målte flow.

En ultralydsmåler måler således en gennemsnitlig flowhastighed som ved skalering med tværsnitsarea-



Figur 14: Sammenligning mellem kontinuerlig flowmåling (blå) og måling via øjebliksværdier (rød). Pulsfrekvens: 1 puls pr. sekund.

let giver en volumenstrøm.

Fordelene ved ultralydsmålere er at disse kan monteres udenpå røret og anvendes uden medieberøring i alle væsker, som ikke er lydæmpende.

Ligeledes kan der opnås en lav måleusikkerhed ved anvendelse af mange spor således at eventuelle forskelle i hastighedsprofilen registreres.

Prisen samt følsomhed over for urenheder og elektriske støj kilder er ulemperne for ultralydsmåleren.

4.5 Coriolis flowmålere

Der findes to typer af coriolis flowmålere. Begge typer består af en konstruktion med to parallelle rør inde i flowmåler huset. I den ene type er rørene lige mens de i den anden type er u-formede. Den lige coriolis flowmåler bruges sjældent, og er derfor undladt i denne beskrivelse.

De to parallelle rør har samme udformning, og i bunden af bøjning sættes de i svingning af en aktuator. Frekvensen af svingningen afhænger af producent, model og størrelse, men ligger som udgangspunkt i området mellem 80 og 1000 Hz. Amplituden af svingningerne er ikke visuelt observerbare, men ville kunne føles med hænderne.

Hvis der ikke er flow igennem måleren vil svingningerne i rørene være symmetriske, men når flow strømmer igennem måleren vil der være en faseforskydning i svingningen.

Det er denne faseforskydning der kan registreres og benyttes til at beregne masseflowet. Ved at kende materialeegenskaber for måleren, indre dimensioner, inertimoment for måleren samt vibrationsfrekvensen kan masseflowet udregnes via Ligning 7:

Ligning 7

$$\dot{m} = \frac{K_u - I_u * \omega^2}{2Kd^2} * \tau$$

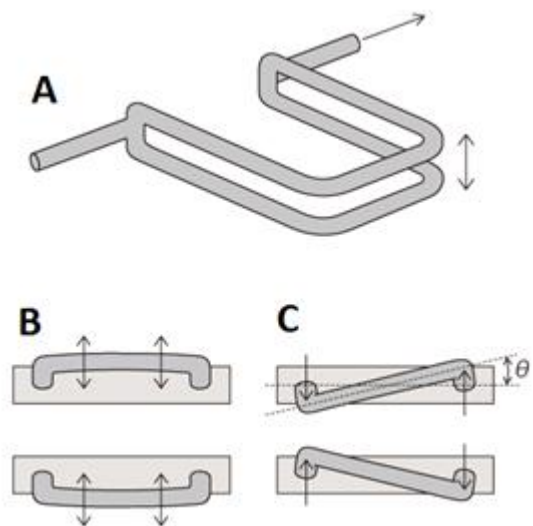
Hvis en coriolis måler skal bruges til at lave volumenmåling skal man samtidigt måle eller beregne densiteten af mediet der måles.

En coriolismåler er meget overfølsom overfor udefra kommende vibrationer, det er derfor vigtigt at sørge for den er isoleret fra vibrationer i installationen. Dette kan gøres ved brug af vibrationsdæmpende tilkoblinger og holdere. Det er ydermere vigtigt at eksterne komponenter eller personale ikke har berøringskontakt med målerhuset når der foretages en måling. Dette kan virke vibrationsdæmpende og medføre fejlvisninger.

Det er også vigtigt at sørge for at der ikke er vrid i måleren i installationen. Opspændingen af en coriolismåler skal derfor foretages særligt forsigtigt, da den mindste form for vrid vil medføre at målingerne vil være ubrugelige.

Det er aldrig muligt at undgå alle former for vibrationer og installationseffekter på måleren, derfor kan der udføres en nulpunktsjustering af måleren. Dette gøres ved at sætte flow gennem måleren, for så at lukke en ventil efter måleren og dernæst en før måleren. Dette sikre at der er et let overtryk i måleren, samt at den er væske fyldt dog uden gennemstrømning. Når denne tilstand er opnået, kan en nulpunktsjustering foretages i målerens software og et nyt nulpunkts sættes. Derved frasorteres eventuel baggrundsstøj fra det omgivende miljø der har indflydelse på måleren. En nulpunktsjustering skal kun foretages ved første installation af måleren eller hvis måleren flyttes til en ny installation da al historik for målerens fejlkurve ikke længere er brugbare til sammenligning.

Hvis en coriolismåler er installeret og justeret korrekt er det en af de mest præcise måleprincipper til flowmåling. Coriolismålere bruges ofte når der måles på medier der varierer meget i densitet og når lav usikkerhed er ønsket. Ulemperne ved en coriolismåler er prisen samt tryktabet over måleren. Tryktabet skyldes dimensionsovergangen til de to små rør, hvilket gør at der er en samt højere tab grundet friktion. Desuden er der flere bøjninger i de u-formede målere som også giver tryktab.

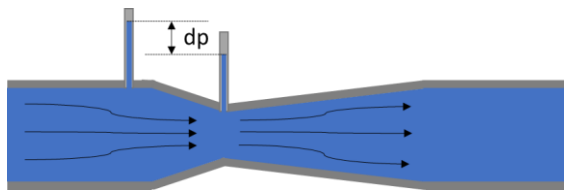


Figur 15: Principtegning for en u-formet coriolisflowmåler. A: Rørføring igennem måleren. B: Synkrone svingninger når der ikke er masse flow igennem måleren. C: Faseforskudte svingninger når der er masseflow.

4.6 Differenstryk flowmålere

Denne klassiske flowmåling anvender som udgangspunkt Bernoullis ligning for sammenhængen mellem statisk og dynamisk tryk.

Etableres en indsnævring i et rør, vil flowhastigheden øges igennem indsnævringen. Bernoullis ligning foreskriver at den højere hastighed nødvendigvis må betyde en reduceret statisk tryk. Denne ændring i statisk tryk kan måles med en differenstrykmåler.

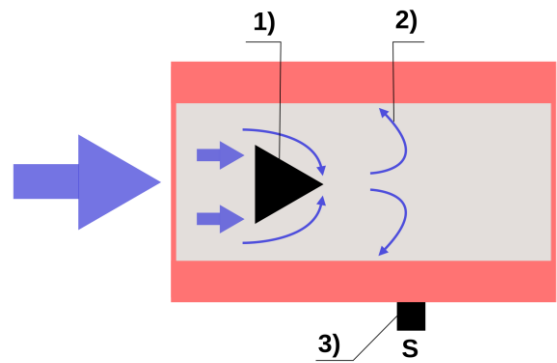


Figur 16: Principtegning for en differencetryk flowmåler. dp : differenstryk.

Differenstrykmålere omfatter for eksempel måleblænder og venturier. Reelt kan et langt lige rør også anvendes. Der er dog ikke tale om skift imellem statisk og dynamisk tryk men være tale om et tryktab, som vil være en funktion af væskestrømmen.

Indenfor differenstrykmålinger findes også pitotrør som måler både det dynamiske og det statiske tryk og, ud fra forskellen mellem dem, beregner hastigheden. En pitotmåling er en lokal måling af hastigheden i et punkt modsat målinger med blænder/venturi som resulterer i en middelhastighed over hele rørets tværsnit.

Differenstrykmålere anvendes hvor der er brug for en simpel måling og hvor der kan tillades større måleusikkerheder. Fordelen er en lavt pris og driftssikker konstruktion. Ulempen er en høj usikkerhed og et lavt dynamikområde, da flow er proportionalt med flow². Mindste troværdige differencetryk bør være 10 mbar og højeste for eksempel 2-300 mbar ved maksimalt flow. Dette giver et dynamikområde på 1:4.5. Ultralydsmålere kan findes med dynamikområde over 1:800. Differenstrykmålere bør derfor kun installeres, hvor der er en lav variation af flowraten, dog er de gode til at indikere små ændringer i flowet.



Figur 17: Principtegning for en vortexmåler. 1: Flowforstyrrelse. 2: Vortex (Hvirvler) 3: Sensor.

4.7 Vortexmålere

Vortexmålere er baseret på hvirvelafsløsningsfænomenet (*von Kármáns hvirvel allé*). Dette fænomen er årsagen til at et flag i en flagstang ved visse vindstyrker bølger.

Hvirvelafsløsningen er indenfor et interval af Reynoldstallet lineært proportional med flowhastigheden. Dette udnyttes i vortexmåleren ved at der på bagkant af en forstyrrelse i væskestrømmen er placeret en afstand af de genererede hvirvler. Figur 17 viser princippet bag en vortexmåler.

Fordele ved vortexmåleren er at der kan måles på alle medier inklusive vanddamp. Ved vanddamp anvendes kendskab til tryk og/eller temperatur samt vanddamptabellen for vand til at omregne hvirvelfrekvensen til en dampstrøm.

Ulempen ved vortexmåleren er at hvirvelafsløsningen sker i et afgrænset interval af Reynoldstallet og det antages at måleren opererer i dette interval. Er man uden for dette interval kan det opleves at en vortexmåler viser nul flow ved f.eks. 25% af maksimal flowrate eller mindre. Dette er en ikke fejl ved den konkrete måler – det er en følge af det fysiske fænomen, som anvendes.

5 Kalibrering

Uanset den anvendte måleteknologi skal der foretages en fastlæggelse af målerens nøjagtighed. Dette kan foretages via prøvning eller kalibrering – enten i et laboratorium eller på stedet. Prøvning er et udtryk for at målerens nøjagtighed holdes op imod valgte tolerancer eller specifikationer. Kalibrering er et udtryk for at der fastlægges nogle faktorer, som skal ganges på output fra måleren for at det rigtige flowmængder vises. Uanset om der foretages prøvning eller kalibrering, så skal dette ske op imod en reference, som har en væsentligt mindre usikkerhed end den testede flowmåler.

Kalibreringsfaciliteterne kan variere fra laboratorium til laboratorium, men er grundlæggende opbygget omkring 3 måleprincipper.

Det første princip er gravimetrisk kontrol. Gravimetrisk kontrol foregår ved afvejning af en mængde inden for et nøjagtigt afmålt tidsrum. Med afvejning og tids tagging kan et masseflow beregnes. Ydermere kan volumenflowet beregnes hvis temperatur og medie kendes. De mest præcise gravimetriske målesystemer kan kalibrere med en usikkerhed mellem 0.05-0.01%. Gravimetrisk flowmåling er sporbar til kiloet. Det er derfor nødvendigt at kalibrere vægten.

Den anden metode er volumetrisk kontrol. Dette gøres ved at have en beholder eller stempel med et nøjagtigt bestemt indre volumen. Indholdet af beholderen eller stemplet føres derpå igennem den måler der skal kalibreres. Denne metode er den bedst egnede til kalibrering af volumenflowmålere. Figur 18 viser en verifikationsvogn til on-site verifikation af flowmålingsudstyr. Vognen består af en volumennormal (bagerst) og flowreguleringsudstyr (pumpe, ventiler samt temperatur og trykmålere).

Den sidste måde er ved referencekontrol. Dette gøres ved at kalibrere måleren op imod en anden måler med kendt fejl. Hvis der kontrolleres i forhold til en anden flowmåler, så vil sidstnævnte oftest være kontrolleret gravimetrisk eller volumetrisk. Forskellen er at den gravimetriske/volumetriske metode ofte har en usikkerhed på mindst 1/10 af usikkerheden for en reference flowmåler.



Figur 18: Målevogn til volumetrisk on-site verifikation af flowmålere. Den forreste beholder indeholder pumper og flowreguleringsudstyr. På den bagerste beholder kan det volumetriske indhold aflæses.

Fordelen ved en referencekalibrering er at systemet til en sådan kalibrering kan være meget simpelt at opbygge og vedligeholde mens både vægte til gravimetrisk kontrol og beholdere med nøje specificerede volumener er meget dyre og komplicerede.

5.1 Kalibrering i laboratorie

Kalibrering i et laboratorium har den fordel at den foretages under kontrollerede forhold. Ulempen er at måleren tages ud af den installation, hvor den normalt anvendes, hvorfor kalibreringsresultat etableret i et laboratorium udelukkende er et udtryk for hvor godt den måler under laboratorieforhold på den specifikke dag. Da der ikke findes bedre opstilling, så betragtes dette som accepteret også i forbindelse med uoverensstemmelser i forbindelse med afregning mellem to parter grundet at parterne ikke begge kan acceptere en målers resultat.

Ud over at vælge imellem gravimetrisk, volumen eller reference måling så skal der ved gravimetrisk kalibrering også vælges om der skal ske flyvende start/stop.

Med flyvendestart/stop menes at der etableres det ønskede flow men at der med en hurtigvirkende 3-vejs ventil skiftes imellem at hælde vand på en vejecelle og sende vandet udenom. Hermed opnås den absolut bedste måleusikkerhed.

En flyvende start/stop kalibrering er kun muligt for målere der ikke kræver manuel aflæsning.

Som kunde er det vigtigt at man overfor laboratoriet specificerer hvad man ønsker målt, flowrater, opstillingsforhold, etc. Nedenstående er ikke fuldstændig men giver et indtryk af listen:

- Positionsreference på anlægget
- Indbygningsforhold (rørdiameter, længde på opstrøms og nedstrøms rør)
- Væske temperatur og -tryk
- mA, pulser eller anden testpunkt
- indstilling for mA, puls, etc.
- Antallet af kontrolpunkter og antallet af gentagelser ved hvert kontrolpunkt.
- På nogle laboratorier er det også muligt at specificere hvilket medie/væske der skal bruges.

massemåler kalibreres med en gravimetrisk reference eller en massereference. Dette skyldes at i laboratoriet er der krav til det omgivende miljø, så lufttemperatur, tryk og fugtighed er nøje kontrolleret og målt. Ved on-site kalibrering er det ikke muligt at kontrollere omgivelserne med samme nøjagtighed, så konvertering fra masse til volumen eller omvendt vil være behæftet med en høj usikkerhed.

Et eksempel på on-site kalibrering er kontrol af benzin og dieselstandere.

5.2 Kalibrering på stedet

Kalibrering af en måler på stedet, derfor også kaldet on-site kalibrering, er også en mulighed. Dette kan være at fortrække hvis måleren af den ene eller anden grund ikke kan tages ud af en installation, f.eks. på grund af størrelse eller tilgængelighed. Det kan, som tidligere nævnt, også være et ønske fra kundens side da måleren så testes i den installation den normalt bliver brugt.

Denne form for kalibrering er noget dyrere end kalibrering i laboratorie, da det er noget mere tidskrævende og desuden er det udstyr der benyttes til on-site kalibrering sjældent lige så præcist og nøjagtigt som det der benyttes i laboratoriet.

Der kan både benyttes gravimetrisk kalibrering og referencemåler ved kalibrering on-site.

Ved on-site kalibrering er det vigtigt at en volumenmåler kalibreres med en volumen reference og en

5.3 Fortolkning af certifikater

Et kalibreringscertifikat skal forstås korrekt. Kalibreringscertifikatet vil ikke sige noget om en tolerance overholdes. Kalibreringscertifikatet angiver udelukkende måleafvigelsen på hvert af de ønskede kontrolpunkter og tilhørende usikkerhed. Sidstnævnte usikkerhed er en blanding af laboratoriets egen måleusikkerhed samt usikkerheden på afvigelsen i kontrolpunktet. Jo flere gentagelser jo bedre bestemmelse af målepunktets afvigelse. Der henvises til UE A1 og A3 for mere information om måleusikkerhed og gentagelser.



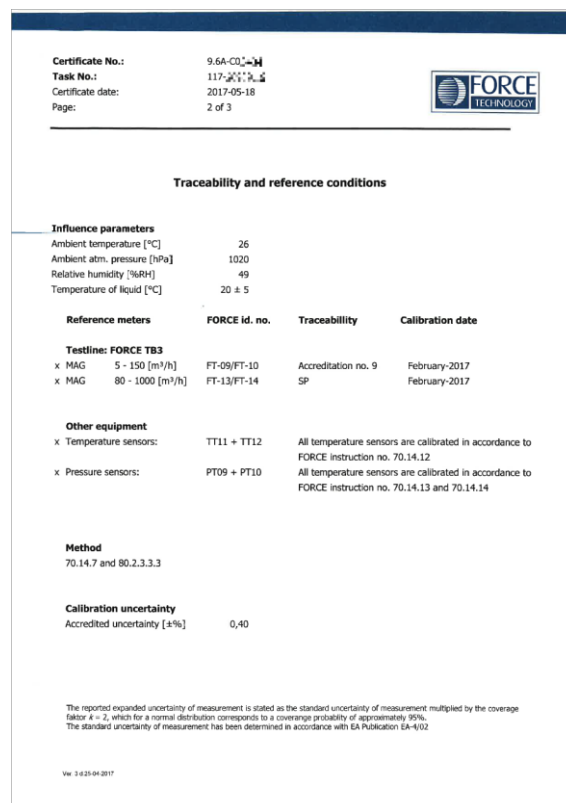
Figur 19: Certifikat forside

Figur 19 viser et kalibreringscertifikat fra FORCE Technology's testanlæg for vandmålere, hvor der har været testet en flowmåler. Logoet fra DANAK sikrer at kalibreringen er foretaget på et akkrediteret laboratorium. Figur 19 viser information om måleren der har været til kalibrering, samt det kalibrerede udgangssignal og kalibreringspunkter.

Ydermere er der information om kunden samt det personale der har udført opgaven.

Figur 20 Viser information omkring laboratoriet bl.a. under hvilke forhold kalibreringen har fundet sted, laboratoriets sporbarhed og hvilket udstyr der har været brugt til kalibreringen og hvilke procedure der har været fulgt.

Figur 21 viser resultaterne fra kalibreringen eller prøvningen. Resultaterne vil altid indeholde flowpunkt, antal gentagelser, standardafvigelse (hvis der er foretaget mere end en gentagelse), fejlen samt usikkerheden. I nogle tilfælde, hvis det er ønsket fra kundens side kan værdier som MPE, K-faktor, Hz, mA eller andet også fremgå af certifikatet. Man kan altid kontakte udstederen af certifikatet hvis man har spørgsmål til information på certifikatet.



Figur 20: Certifikat side med laboratorie information

Certificate No.: 9.6A-C0340-
 Task No.: 117-355-1 L
 Certificate date: 2017-05-18
 Page: 3 of 3

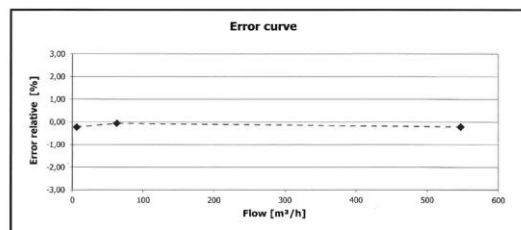


Calibration results

I/N No.: 2017/7051-1

U_{95} is the accredited uncertainty and the reading uncertainty from the DUT, calculated according to the GUM method.

Flow No.	Nominal flow [m³/h]	Real flow [m³/h]	Meter error [%]	Number of measurements [n]	Standard deviation of measurements [%]	$U_{95}(k=2)$ [± %]	MPE [± %]
1	600	547,1	-0,22	1	-	0,40	2,02
2	60	62,92	-0,05	1	-	0,40	2,19
3	6	6,364	-0,22	1	-	0,40	3,89



Ver. 3 2016-04-2017

Figur 21: Certifikatside med resultater

6 Opsummering

Flowmåling benyttes i mange processer og anlæg, til et bredt område af formål. Når en anlæg, hvori der indgår flowmåling, skal designes er der en række scenarier man skal overveje.

For det første er det vigtigt at overveje hvor i installationen man ønsker at placere målere. Er det muligt at undgå flowforstyrrelser eller skal der korrigeres for disse.

Dernæst er det vigtigt at sikre sig at man installerer en måler der både kan håndtere mediet der måles på, samt kan modstå det miljø den skal sidde installeret i. Skal den f.eks. sidde i et miljø hvor der er meget vibrationsforurening fra omgivelserne vil en Coriolismåler være ufordelagtig, mens hvis installationen skal måle på et medie der er lyddæmpende så bør ultralydsmålere undgås.

De færreste flowmålere er installeret selvstændigt. De er ofte en del af en større installation, hvor signalet transporteres til eksterne beregningsenheder eller kommunikationsprotokoller. Det er derfor vigtigt at have øje for hele signalkæden. Læs mere om dette i UE A6.

Som det går igen ved alle måleteknikker, er måleteknikerens bedste redskaber hans usikkerhedsbudget og måleinstrument med tilhørende kalibreringscertifikat.

7 Bibliography

- [1] »Den Danske Ordbog,« [Online]. Available: <http://ordnet.dk/ddo/ordbog?select=-meter&query=meter>. [Senest hentet eller vist den 2017 12 14].
- [2] »Den Danske Ordbog,« [Online]. Available: <http://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=m%C3%A5ler>. [Senest hentet eller vist den 2017 12 14].
- [3] A. B. Lauritsen, S. Gundtoft og A. B. Eriksen, Termodynamik, København: Nyt Teknisk Forlag, 2007.
- [4] "Wikipedia," 23 September 2017. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Entrance_length. [Accessed 1 November 2017].
- [5] D. W. I. Spitzer, Flow Measurement, Practical Guides for Measurement and Control, D. W. Spitzer, Red., Raleigh, USA: Instrument Society Of America, 1991.