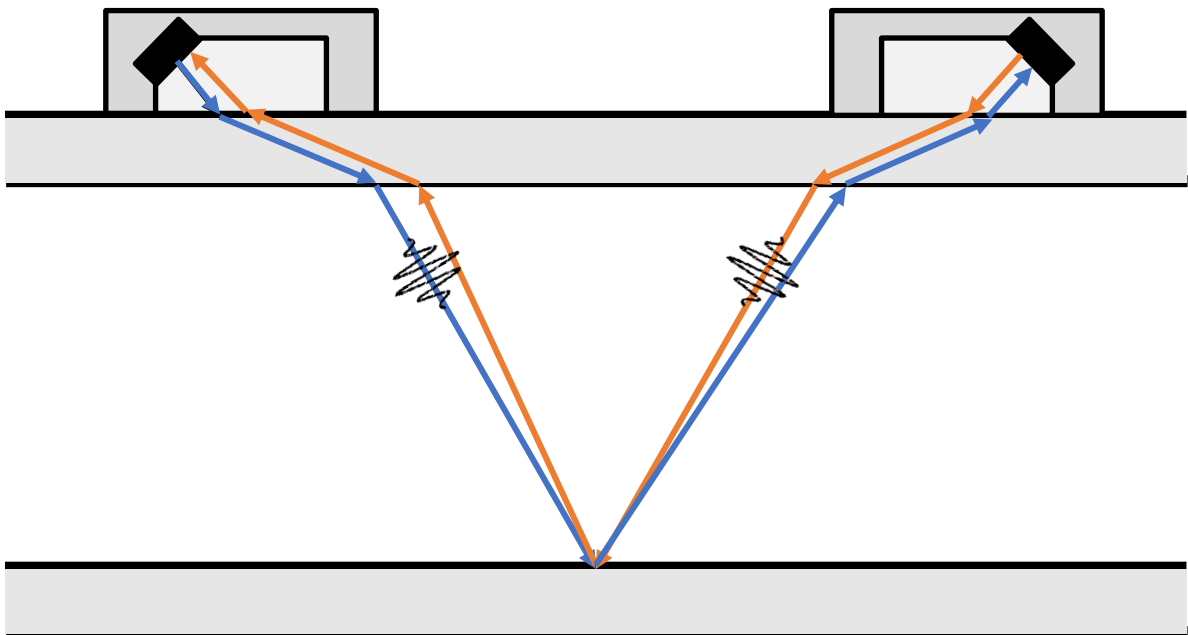


# FLOWCENTER DANMARK

## Setup til kalibrering af Clamp on-flowmålere

---



December 2018

Rapportforfatter:

Anders Niemann, Teknologisk Institut

## Introduktion

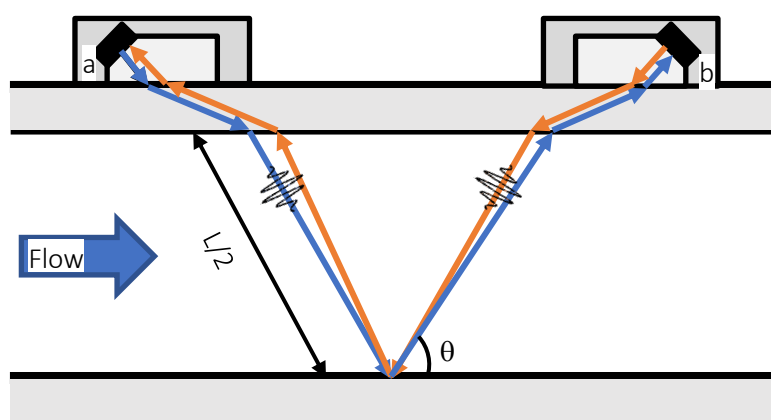
Ultralyds-clamp-on flowmåling er en teknik, hvor man ved hjælp af to transducere monteret uden på et rør kan beregne volumenflowet af fluidet fx vand eller luft inden i røret. Grundlæggende set måles den gennemsnitlige hastighed af fluidet over rørets tværsnit og omregnes derefter til et volumenflow. Det kræver blandt andet, at man kender rørets diameter og vægtykkelse. Clamp-on flow måling kan være en særdeles effektiv metode til at måle volumenflowet i et rør, hvor der ikke på forhånd er monteret en in-line flowmåler, eller man ønsker at kontrollere en allerede monteret in-line flowmåler, der ikke kan demonteres. Metoden har dog en række begrænsninger i forhold til nøjagtighed. Flere forskellige forhold kan påvirke en clamp-on målers nøjagtighed, hvor de vigtigste forhold er selve målerens måleevne, rørens beskaffenhed fx belægninger på indersiden og flowet i røret, der kan være forstyrret af fx bøjninger, ventiler etc. opstrøms for målingen.

Som det altid forholder sig med måleinstrumenter, er det vigtigt at sikre sig, at måleinstrumentet selv er velfungerende og har den rette nøjagtighed. I tilfældet med clamp-on måleren er det svært præcist at bestemme nøjagtigheden i en on-site situation, da der ved on-site brug er nogle parametre, der kan påvirke nøjagtigheden, som er svære at estimere eller overhovedet få viden om. Det er vigtigt at holde sig for øje at en måling ikke har nogen værdi, hvis man ikke udtrykker kvantitativt, hvor nøjagtig den er. Den eneste måde man kvantitativt kan udtrykke, hvor nøjagtig en måling er, er ved at bestemme alle de usikkerhedsparametre, der influere på den måling man vil foretage. En usikkerhedsparameter kan fx være rørets godstykkelse eller den indvendige rørdiameter. Indtil nu har der ikke været sporbare<sup>1</sup> og akkrediterede<sup>2</sup> laboratoriefaciliteter i Danmark til kalibrering af Clamp-on udstyr. I forbindelse med resultatkontraktperioden fra 2016-2018 har FLOW-laboratoriet ved Teknologisk Institut, som en del af Flowcenter Danmark-samarbejdet, etableret en kalibreringsfacilitet med henblik på at forbedre målenøjagtigheden for clamp-on målere, samt sikre sporbarhed på højeste niveau af disse.

Det er realiseret ved at etablere et set-up med et standardiseret rørstykke til kalibrering af clamp on-flowmålere. Setup'et er testet og dokumenteret med henblik på at etablere en akkrediteret kalibreringsydelse. Setup'et forventes akkrediteret i januar 2019. Det nye kalibreringssetup er nærmere beskrevet i afsnit "Kalibreringssetup". For at forstå setup'et og de tilhørende usikkerhedskomponenter beskrives clamp-on flowmålerens virkemåde mere detaljeret i næste afsnit.

## Måleprincippet for Clamp-on flowmålere

Den her beskrevne ultralyds clamp-on måler anvender en metode kaldet "transit time of flight" ofte



forkortet til "TOF". Transducerne er monteret udenpå røret med såkaldte clamps.

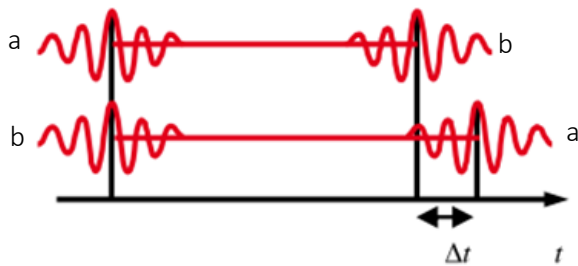
Ultralydsimpulsen sendes fra transduceren, gennem rørvæggen og ned gennem fluidet i røret, se figur 1 og 2. Ved hjælp af Snells lov og med kendskab til lyd hastigheden i fluidet kan man beregne vinklen på ultralydens "stråle". Med kendskab til vinklen og tiden, som lydimpulsen bruger

Figur 1

<sup>1</sup> Se mere om sporbarhed på <https://daniamet.dk/da/kalibrering-og-sporbarhed/>

<sup>2</sup> [http://portal.danak.dk/info\\_akkreditering/](http://portal.danak.dk/info_akkreditering/)

for at passere fra a til b og retur fra b til a, kan man beregne fluidets hastighed ud fra den grundlæggende formel, se formel 1.



Figur 2

Formel 1:

$$V = \frac{D}{\sin(2\theta)} \cdot \frac{\Delta t}{t_{up} \cdot t_{down}}$$

Hvor:

V = gennemsnitlig flowhastighed i rørets tværsnit

D = rørdiameter

θ = vinklen mellem ultralydens "stråle" og axial retning

Δt = t<sub>up</sub> - t<sub>down</sub> = forskellen i transit-tid mellem a » b og b » a

Som det ses af ovenstående formel, så er hastighedsmålingen uafhængig af fluidets egenskaber, tryk og temperatur, ligesom lydets hastighed ikke fremgår af dette udtryk. Sammenholdt med at der ikke er nogen bevægelige dele eller tryktab over måleren gør dette denne type måler meget attraktiv. Ovenstående formel viser, at målingen umiddelbar er simpel, men der er dog en del faktorer, som gør en præcis måling vanskelig som fx måling af transittiden, et fuldt udviklet flowprofil og et godt kendskab til rørets materiale samt tykkelse osv.

Volumenflowet Q kan nu udregnes ud fra følgende formel:

Formel 2:

$$Q = \bar{V} \cdot A$$

Hvor:

$\bar{V}$  = gennemsnitlig flowhastighed i rørets tværsnit

A = tværsnitsarealet af røret

Frekvensen, som ultralyden bliver sendt med, skal også tilpasses mediet som flyder i røret. For måling i væske er det typisk i MHz-området, og for måling i gas er det typisk i området 50 – 500 kHz.

## Anvendelse af clamp on-flowmålere

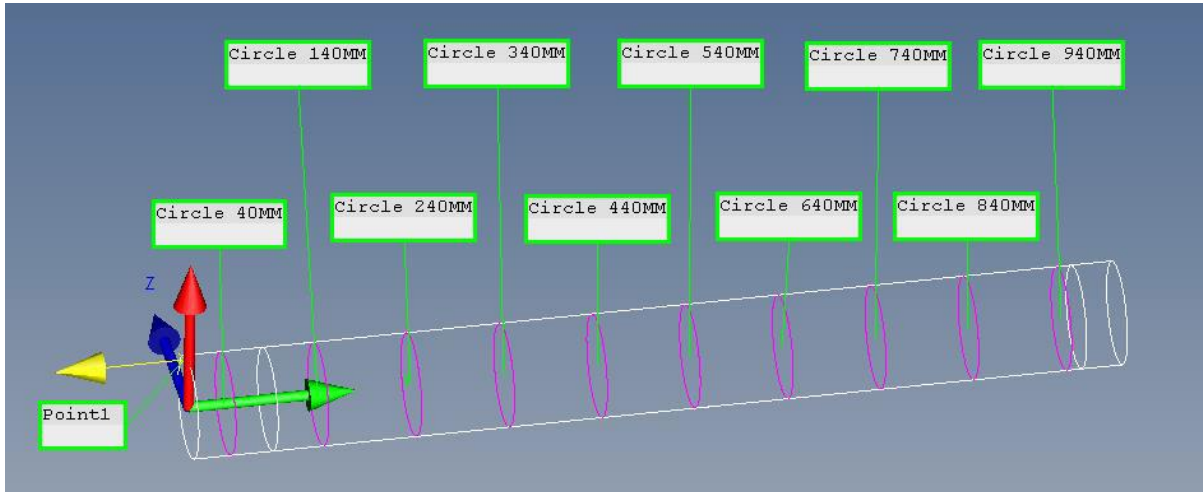
Ved montering af clamp-on-måleren er det vigtigt at placere transducerne rigtigt (i dette tilfælde en clamp-on-flowmåler af mærket FLEXIM). Ved at indtaste yderdiametere og godstykkelsen af røret beregnes den indbyrdes afstand mellem transducerne, som de skal placeres med på røret. Desuden indtastes hvilket fluid, der løber i røret, fx vand, samt rørmaterialet fx stål. Dernæst indtastes fluidtemperaturen, da denne har betydning for lydudbredelseshastigheden.

## Kalibreringssetup

Rørets diameter og godstykkelsen af røret er, som beskrevet ovenfor, essentielle parametre at have styr på for at opnå en nøjagtig flowmåling, men det er også to parametre, som det kan være svært at bestemme i praksis.

Teknologisk Institut har etableret en kalibreringsfacilitet til kalibrering af clamp-on-flowmålere.

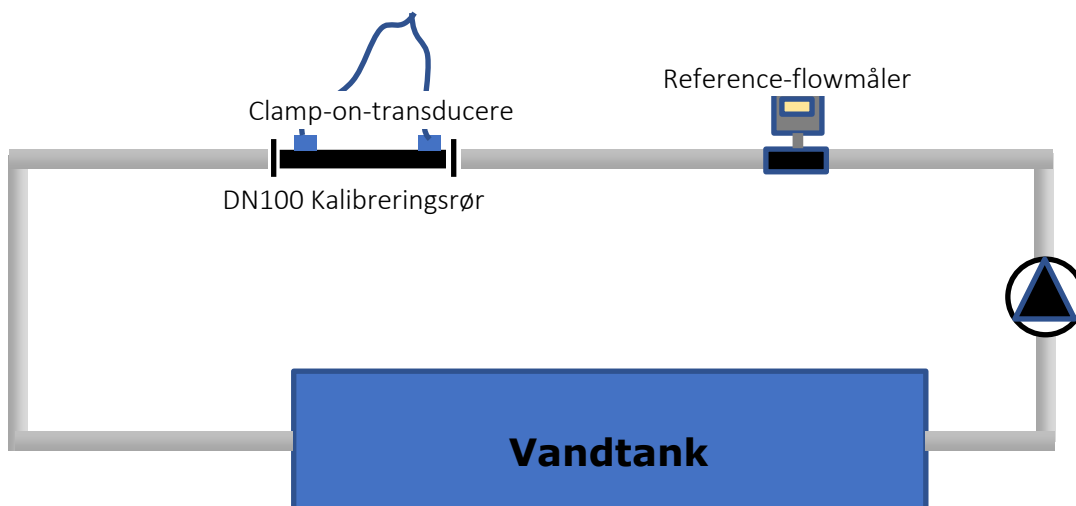
Setup'et består af et 1 meter langt DN100-rør, der er mekanisk bearbejdet (drejet af) både ind- og udvendig, således at både den ind- og udvendige diameter kan bestemmes meget nøjagtig, og er ens i hele rørets længde. Den geometriske opmåling er foretaget hos Teknologisk Instituts center "Måling og kvalitet" og omfatter 10 diametermålinger fordelt som vist på figur 3. Desuden blev der foretaget rundhedsmåling af røret.



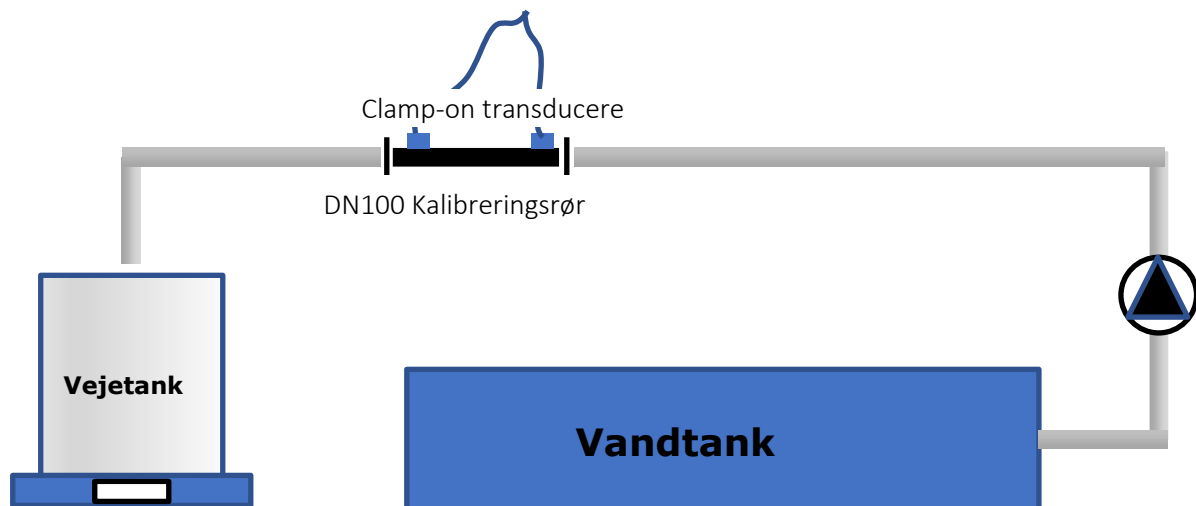
Figur 3

Disse målinger vil indgå i usikkerhedsbudgettet for selve kalibreringssetuppet.

Ved kalibrering af en clamp-on-flowmåler monteres det opmålte DN100 rør i en flowprøvestand, hvor man enten i et lukket kredsløb kan cirkulere vand igennem en kalibreret referenceflowmåler og herefter igennem røret eller igennem røret og herefter i en vejetank, se skitser nedenfor på figur 4 og 5. På Teknologisk Instituts prøvestand er begge dele mulig. Den sidste mulighed er en gravimetrisk metode, hvor man afvejer den mængde vand, der er løbet igennem røret i et givent tidsrum, er den mest nøjagtige. Man kan her måle flowet med en nøjagtighed på 0,1 %. Ved referenceflowmåling er nøjagtigheden mellem 0,3 og 0,5 %.



Figur 4



Figur 5

Nå kalibreringsrøret er monteret, og man er begyndt at cirkulere vand igennem det, er det ekstremt vigtigt at sikre, at alt luft er ude af rørsystemet inden man starter kalibreringen, så man undgår luftlommer, der kan påvirke kalibreringsresultatet. Clamp-on-flowmålerens transducere monteres på kalibreringsrøret efter de forskrifter, der er givet for den specifikke måler. Den udvendige diameter og godstykkelsen, der begge er fundet ved geometrisk opmåling af kalibreringsrøret, bruges som inputdata.

## Usikkerhedsbudget

Opmåling af røret viste, at røret har en gennemsnitlig udvendige diameter på 110,139 mm ± 0,027 mm og en gennemsnitlig godstykkelse på 5,004 mm ± 0,019 mm.

Den indre diameter, som beregnes i selve flowmåleren ud fra de to ovenstående parametre, kan altså variere fra 100,066 mm til 100,198 mm, hvilket medfører, at usikkerheden på det indre tværsnitsareal bliver 0,26 %. Den geometriske opmåling blev udført med en nøjagtighed på ± 0,004 mm, hvilket giver anledning til en usikkerhed på 0,05 % på tværsnitsarealet. Selve prøvestanden har en usikkerhed på 0,1 % med den gravimetriske kalibreringsmetode. Den samlede usikkerhed  $U$  for kalibreringssetup'et kan nu findes således:

$$U = \sqrt{(0,26 \%)^2 + (0,05 \%)^2 + (0,1 \%)^2} = 0,29 \%$$

Under en kalibrering gentages hvert flowpunkt tre gange, så der også kan tages højde for clamp on-udstyrets reproducerbarhed, hvilket oftest vil være det største usikkerhedsbidrag, der skal tilføjes til usikkerhedsbidraget fra selve kalibreringssetup'et.

## Konklusion

Med det nye kalibreringssetup på Teknologisk Institut, er det muligt at kalibrere clamp on-flowmålere med en usikkerhed for selve kalibreringssetup'et på ±0,3 %. Ved at lade et clamp on-udstyr kalibrere får man et kendskab til selve udstyrets performance, så man i en on site-situation kan trække den parameter ud af ligningen og dermed minimere den samlede usikkerhed for on site-kalibreringen.