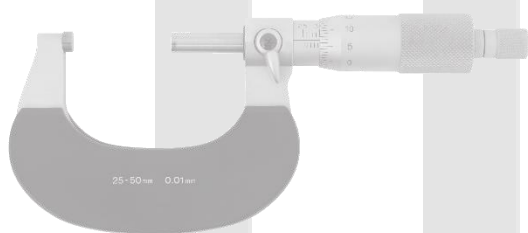


ON-SITE KALIBRERING

UNDERVISNINGSELEMENT

A7

—
UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK

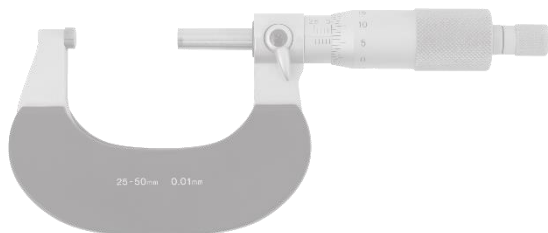


metrologi.dk

ON-SITE KALIBRERING

Erik Jensen, FORCE Technology

1. udgave – november 2019



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 undervisnings materialet 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	4.1 Isolering af transmitter	14
1.1 Kalibrering eller verifikation	2	4.2 Referenceudstyr og testopstilling	14
1.2 Udfordringerne on-site	2	5 On-site kalibrering af temperaturtransmittere.....	15
1.3 Læringsmål.....	3	5.1 Typer af temperatursensorer og transmittere .	15
2 On-site kalibrering – generelle betragtninger	3	5.1.1 PT100, PT500, PT1000, etc.	15
2.1 Sporbarhedskæden	3	5.1.2 Transmitteren	16
2.2 Kalibrering, prøvning og funktionstest	4	5.1.3 Følerlomme	16
2.3 Kompetence til at kalibrere on-site	5	5.2 Indstiksdybde	16
2.4 Hvor ofte skal kalibreres?	5	5.3 Referenceudstyr.....	17
2.5 Tolerancer, acceptgrænser, måleusikkerhed og reference-udstyr	6	5.3.1 Vandbadet	17
2.5.1 Hvad er sammenhængen imellem usikkerhed, tolerance og accept-grænse? .	6	5.3.2 Tørkalibratoren	18
2.5.2 Hvem fastlægger acceptgrænser og tolerancer?	6	5.4 Kalibreringsformer.	19
2.5.3 Valg af referenceudstyr	7	5.5 Opsummering	19
2.6 Specifikationen af procedure.....	7	6 On-site kalibrering af flowmålere	19
2.6.1 Kalibrering – direkte eller indirekte?	7	6.1 Væske i rør	20
2.6.2 Valg af kontrolparameter	8	6.1.1 Clamp-on	20
2.6.3 Valg af kontrolpunkter	8	6.1.2 Master-slave	20
2.6.4 Procedure for kalibrering	9	6.1.3 Imod vægt.	21
2.7 Er der behov for justering?	10	6.1.4 Imod volumen.	22
2.7.1 Anvendelsen af kontrolkort.....	10	6.2 Væske i åbne kanaler	22
2.7.2 Gennemførsel af justering.....	10	6.3 Luft (gas) i rør.....	23
2.8 Rådata og validerede data	11	6.3.1 Clamp-on	23
3 Kalibrering – loop og display.....	11	6.3.2 Pitotrør	23
3.1 Skal signalkæden kalibreres som helhed eller som enkelt elementer?	12	6.3.3 Anemometer (turbine)	23
3.2 Dæmpning, dødbånd, cut-off og afskæring.....	12	7 On-site kalibrering af vægte	24
3.3 Kalibrering af D/D og A/D I/O kort.....	13	7.1 Udfordringer	24
3.4 Displays og stepstørrelse	13	7.2 Vægten.....	24
4 On-site kalibrering af tryktransmittere og manometre	14	7.3 Referencen (loddet)	25
		8 Opsummering	26
		9 Krydsreferencer til UE	27
		10 Referencer	27

1 Indledning

Enhver produktion af et salgbart emne vil i større eller mindre grad blive styret ud fra målbare forhold i fremstillingsprocessen. For mange anlæg er temperaturen en yderst vigtig parameter. Andre ting såsom geometriske dimensioner, flow, tryk, gaskompositioner, materialeegenskaber er eksempler på andre forhold, hvor der kan være et ønske om eller behov for at få fastlagt om tolerancer er overholdt eller hvor nøjagtig og præcis målingen er.

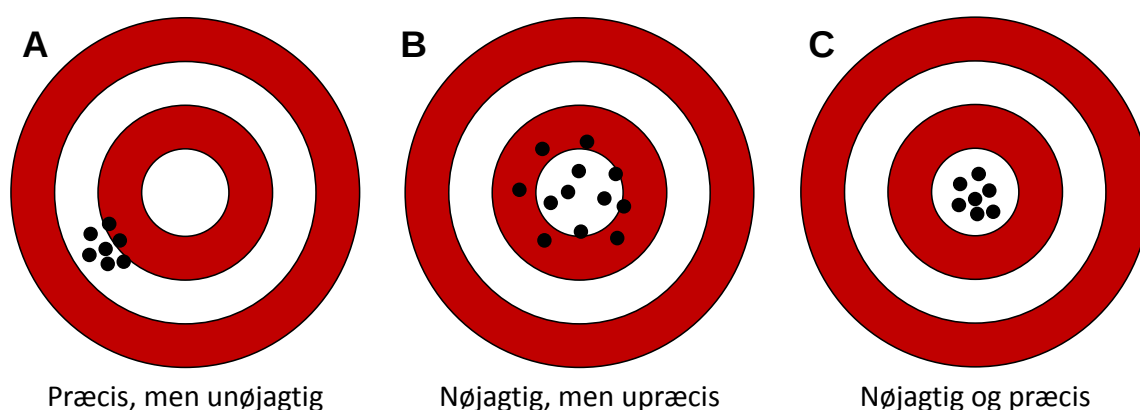
Kalibrering af et måleinstrument er dermed et kritisk element i kvalitetsstyringen, idet kalibreringen indgår i sporbarhedskæden som en del af dokumentationen for overholdelse af specifikationer. Da der er tale om troværdighed, så er det vigtigt at kalibreringen af instrumenter sker systematisk men også effektivt, da der jo også er tale om udgifter til løn og så videre.

Kalibrering af et instrument under kontrollerede forhold i et laboratorium sikrer de laveste måleusikkerheder for instrumentet. Dette skyldes at det her er muligt at holde alle ydre parametres indflydelse til et minimum samt at personalet er rutinerede i netop denne opgave, da det ofte gennemfører lignende kalibreringer.

En kalibrering i et laboratorium vil foregå under referencebetingelser. Disse vil normalvis blot ikke svarer til de faktiske forhold, som måleudstyret anvendes under. Kalibrering i et laboratorium vil derfor ikke altid sige noget om nøjagtigheden af den faktiske måling ude i felten men derimod noget om præcisionen på målingen under referencebetingelsen – se figur 1.

Ved kalibrering på stedet for anvendelsen af transmitteren medtages bidrag fra blandt andet installationsforhold, dataloop, ydre påvirkninger fra miljøet og dermed mere realistiske driftsforhold. "Den menneskelige faktor" vil derimod være forringet i forhold til laboratoriet. En lidt grov og forsimplet sammenligning er at laboratorie kontrol viser præcision, "A", og on-site kalibrering af utrænede personale kan give nøjagtig men upræcis, "B".

Dette undervisningsmateriale har til formål at bidrage til at kalibreringer på anvendelsesstedet af et instrument kan ændres til at give både præcise og nøjagtige data for målingens kvalitet, "C".



Figur 1: Forskellen mellem præcision og nøjagtighed illustreret med en skydeskive. (A) Skytten har sat alle skud tæt på hinanden (præcis), men væk fra centrum (unøjagtig). (B) Der er stor spredning på skyttens skud (upræcis), men de er pænt centreret omkring centrum af skydeskiven (nøjagtig). (C) Skytten har ramt centrum (nøjagtig) med alle sine skud (præcis). Fra [9].

1.1 Kalibrering eller verifikation

Måleudstyr anvendt som grundlag for betaling eller måleudstyr anvendt til for eksempel docering af medicin er underlagt regler om kontrol. Denne kontrol betegnes ofte som verifisering og er fastlagt via lovgivningen. For yderligere informationer henvises til sikkerhedsstyrelsens hjemmeside, som i Danmark har ansvaret for dette område og derved overholdelse af foreskrifter såsom NAWI og MID.

Verificering af udstyr sker i forhold til nøjagtighedsklasser, hvor der vil være forskellige krav til nøjagtigheden under verifikation. Disse regler følges af dansk lovgivning, hvor der ofte er angivet at et måleudstyr under anvendelse må have det dobbelte måleusikkerhed end krævet under verifikationen.

Verificering er grundlæggende en kalibrering med prædefinerede målepunkter og med fastsatte tolerancer. Det er kun udvalgte firmaer som må foretage verificering af måleudstyr.

Akkrediteret kalibrering må kun foretages af firmaer, hvor måleusikkerheden er testen op imod nationale referencer og via indbyrdes test med andre akkrediterede firmaer. Herforuden kræves der ved akkreditering væsentligt større krav til uddannelse af personale og procedurer.

I dette dokument tages udgangspunkt i almindelig kalibrering af udstyr, som må foretages af det enkelte firma. Det er dog vigtigt at forholde sig til om et måleinstrument er klasset i forhold til en standard, når det vurderes om et instrument viser "godt nok" eller om det er udenfor tolerancer.

1.2 Udfordringerne on-site

Figur 2 viser måleteknikkens sekstakkede stjerne, som illustrerer elementer med betydning for måleusikkerheden.

Målemiljøet er som nævnt forskelligt imellem on-site og et laboratorium.

Referenceudstyret vil være forskelligt. Udstyr til brug on-site skal være robust og pålideligt, hvorimod et laboratorieinstrument grundet det kontrollerede miljø kan vælges til at være af måleteknisk høj kvalitet.



Figur 2: Måleteknikkens sekstakkede stjerne. Fra [9]

Operatøren (måleteknikeren) vil have en betydning for måleusikkerheden – blot tænk på hvorledes det vil være at stå med tykke handsker i -2 °C og blæsende forhold samtidigt med at skulle håndtere måleudstyr (små skruer og kontakter) med den tålmodighed, som kræves for at opnå stabilitet ved gentagne aflæsninger.

Målemetoder og procedure vil være forskellige alt efter om der kalibreres on-site eller under laboratorieforhold. Kopiering af en procedure fra et laboratorium til anvendelse on-site vil ikke være brugbart, da on-site målemetoden også skal tage hensyn til de praktiske forhold, som udover det ydre miljø også skal tage hensyn til anlæggets drift.

Mest vigtigt er at procedurerne tager højde for sikkerheden. Det gælder både personsikkerhed og driftssikkerhed, idet kalibrering af et instrument i et anlæg ikke må betyde at anlægget risikere at fejle.

Af hensyn til et anlægs drift og behovet for vedligehold af ekstra måleinstrumenter vil det ofte være ønskeligt at foretage de nødvendige kalibreringer on-site. Hertil kommer at det kan være langt den billigste fremgangsmåde at foretage kalibrering on-site frem

for at sende et instrument til kalibrering ved et laboratorie.

Dette undervisningselement har til formål at give et indblik i on-site kalibrering af basale parameter såsom tryk, temperatur, flow og vægte. De grundlæggende forhold vil dog være ens uanset måleparameter – nemlig at on-site måling skal tilpasses den aktuelle situation for at kunne give de bedst opnåelige resultater.

1.3 Læringsmål

Læringsmål er at den studerende kan reflektere over emnet *on-site kalibrering*, og

- har en fornemmelse for de udfordringer, som er specielle for on-site kalibrering sammenlignet med kalibreringer i et laboratorie.
- vil kunne vælge en almen kendt teknik til kalibrering af procestransmittere med almindeligt forekommende udstyr.
- vil have et kendskab til kalibreringsteknikker til on-site kontrol.
- vil have en fornemmelse for hvad der er muligt og hvad der ikke er muligt.

Der vil ikke blive gennemgået detaljer og emner, som er beskrevet i andre undervisningselementer men derimod foretaget en henvisning til relevante sektioner.

Uanset indholdet i dette dokument er det vigtigt for den studerende at ved ansættelse i et firma vil denne have en kvalitetshåndbog, som gerne skulle give svar på mange spørgsmål vedrørende kalibrering – herunder hvorledes disse foretages, hvor ofte og hvad kalibreringen skal eftervise (tolerance). Dette gælder specielt hvor lovgivning eller handelskontrakter stiller specifikke krav til kvalitetssikringen.

2 On-site kalibrering – generelle betragtninger

Uanset kalibreringsobjektet er der forhold som er fælles og derfor kan betragtes som værende generelle betragtninger i forbindelse med kalibreringen såsom frekvens, tolerance, hvorledes og hvem. En del af disse punkter er allerede beskrevet i UE A1, UE A3, UE A5 og UE A6, hvorfor der henvises til disse dokumenter.

Ethvert firmas kvalitetshåndbog vil (bør) beskrive hvorledes kalibreringer foretages, hvor ofte de foretages, hvem som skal gøre dette, hvem som specificerer en kalibrering samt herudover angive i hvilket omfang historiske data skal korrigeres. Det er ikke nødvendigvis beskrevet direkte i en kvalitetshåndbog men kan være gemt i henvisninger til andre interne dokumenter eller standarder.

Dette afsnit gennemgår nogle af de væsentligste generelle forhold.

2.1 Sporbarhedskæden

Sporbarhedskæden er et centralt element i enhver kalibrering og må ikke brydes med en kalibrering.

Man skal derfor altid sikre sig at måleudstyret er brugbart til formålet og at der findes gyldigt dokumentation for måleudstyrets måleevne.

Det første, som skal gøres ved opstart af en kalibrerings opgave er derfor at sikre at referenceudstyret er kalibreret og at certifikatet fortsat er gyldigt.

Referenceudstyret skal være vedligeholdet og det sikres, at det kun anvendes i henhold til firmaets kvalitetshåndbog. For den gode kalibrering er det oftest fordelagtigt at referenceudstyr anvendt til kalibrering ikke anvendes til øvrige formål.

Disse ting sikres blandt andet ved at kontrollere datoen for sidste kalibrering, tjekke udstyret for slidmærker og lignende samt foretage en funktionstjek. Er der det mindste tegn på misbrug af instrumentet, tvivl om funktionen eller anden

mistænkelige forhold, så må instrumentet ikke anvendes før en ny kalibrering er gennemført uanset om datoen for sidste kalibrering ikke er "for gammel".



Figur 3 Eksempel på kalibreringsmærkat med dato for kalibreringen og sporbarhed til certifikatet. Figur 12 fra [1].

Referenceudstyrets måleevne skal passe til opgaven. Dets måleusikkerhed skal være bedre end den tolerance, som skal eftervises.

Måleudstyrets range skal ligeledes passe til opgaven. Det nytter ikke at have et fint instrument med visning 0-100 A, hvis man kontrollerer mA.

Man kan således ikke blot tage et tilfældigt multimeter fra instrumenthylden, hvis man skal kontrollere spænding.

Ind imellem den periodiske officielle kalibrering vil det være fordelagtigt at foretage kalibrering af måleudstyret – eventuelt i reduceret omfang. Hermed kan sikres at referenceudstyret ikke pludseligt udviser en fejl, som først opdages senere. Disse mellemliggende kalibreringer kan foretages som en del af funktionstesten.

2.2 Kalibrering, prøvning og funktionstest

Udtrykket *kalibrering* omfatter udelukkende at man etablerer en sammenhæng imellem et instrument og dets reference. Resultatet af dette er et stykke papir, hvor der er angivet en sammenhæng.

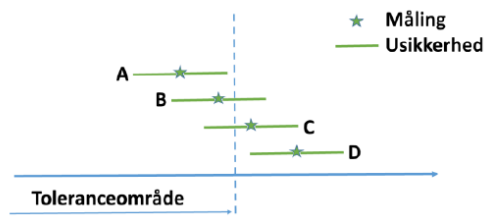
Resultatet af en kalibrering kan bruges enten til at dokumentere overholdelse af en tolerance eller anvendes direkte til justering af målesignalet.

Det er mest korrekt at foretage en justering ved kilden – det vil sige instrumentet. Alternativt kan justering foretages i for eksempel SCADA systemer eller andre

systemer, som anvender de rå målinger. Afsnit 2.7 omhandler justering.

Foretages en justering af instrumentet direkte, så skal der laves en ny kalibrering. Foretages en tilpasning af data i SCADA, så skal rådata også gemmes sammen med de korrigerede data.

Udtrykket "prøvning" dækker over at kalibreringsresultaterne anvendes til at vurdere om et instrument overholder specifikationer såsom en tolerance eller om målingen falder udenfor. Dette er illustreret på figur 4, hvor eksempel A og eksempel B kan siges at være entydige, men at måleresultatet B og C ikke kan bruges til at vurdere om en tolerance er overholdt. Nøgleordet for denne vurdering er måleusikkerheden.



Figur 4 Overholder målingen en tolerance? Ved B og C kan dette ikke med sikkerhed fastlægges [10]

Funktionstesten kan ikke bruges som dokumentation for nøjagtighed men har udelukkende til formål at sikre at instrumentet reagerer på en påvirkning, og at visningen virker rimelig.

Funktionstesten skal ofte gennemføres på et instrument før en kalibrering påbegyndes. Kravene til en funktionstest er ikke så skarpe som for kalibreringen, men vil vise om det kan betale sig at foretage en kalibrering.

En måleprocedure til on-site vil kunne bestå både af funktionstest og kalibrering.

En kalibrering uden efterfølgende at anvende resultatet giver ikke nogen værdi.

2.3 Kompetence til at kalibrere on-site

I princippet bør kalibreringsprocedurerne være så specifikke at alle arbejdsduelige teknikere i princippet kan foretage en kalibrering, hvis de har modtaget instruktion og kan læse og følge en procedure. Dette sikrer, at kalibreringen gennemføres ens hver gang, og dermed giver højest værdi.

Der er så mange fejkilder til målefejl under kalibrering, at den komplette procedure ville være så omfattende, at man ofte ikke vil læse den alligevel. At kalibreringer ikke altid kan udføres fuldt automatisk (endnu) skyldes, at der ved kalibreringen også skal medtages sund fornuft til vurdering om målingen nu virker til at være korrekt eller om der er gemt nogle uopdagede fejkilder.

I praksis bør den udførende person således have en stor portion "sund fornuft" i form af erfaring fra anlægget og med kalibrering. Den sunde fornuft skal bidrage til at sikre at fejl under kalibreringen opdages eller helt undgås. Se også kommentarer under 2.5.2.

Kalibrering bør og skal derfor foretages af en person, som har både erfaring og træning i denne opgave. Kalibrering er en specialistopgave.

2.4 Hvor ofte skal kalibreres?

Det kan være en omkostning at foretage en kalibrering, da denne ikke bidrager direkte til indtjeningen, og hvorfor en ledelse meget hurtigt vil kunne have en økonomisk interesse i at minimere antallet af kalibreringer. Manglende kalibrering af instrumenter kan omvendt betyde tab af ordre og dermed indtjening.

Antallet af kalibreringer for det enkelte instrument skal fastlægges efter behovet for dokumentation. Behov kan i denne sammenhæng være krav fra kunder eller myndigheder eller behov for at følge et tidsmæssigt forløb (kvalitetsstyring).

Hvor et unødigt højt antal kalibreringer vil betyde unødige omkostninger, så vil et for lille antal

kalibreringer betyde at instrumenters fejlmålinger eller fejlmålinger under kalibrering først vil blive opdaget meget sent. Regnskaber opgøres og revideres på årsbasis. Det er derfor normalt at måleudstyr kontrolleres mindst én gang årligt.

Et af nøgleordene i forbindelse med periodisk kalibrering er "drift". Dette udtryk dækker over forhold såsom mekaniske ting (slidtage) men også over følsomheden af elektroniske signaler eller blot stabiliteten af en måling. Hvis en måling ikke drifter, så er der ej heller grundlag for at foretage periodiske kalibreringer, men uden periodiske kalibreringer, kan mangel på drift ikke dokumenteres.

Hvis den historiske dokumentation viser at de seneste kalibreringer – kunne være 3 kalibreringer – er indenfor et acceptabelt niveau, så kan det anvendes som begrundelse for forlængelse af kalibreringsintervallet. Dog skal en sådan ændring altid være beskrevet i firmaets procedurer og skal være dokumenteret. Hvis en efterfølgende kalibrering fejler, så skal det oprindelige interval genetableres.

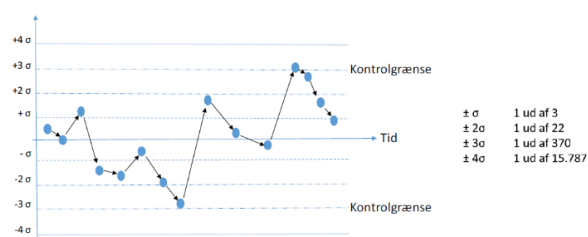
Det acceptable niveau bør ikke være det fulde acceptinterval under kalibreringen med for eksempel kun 1/3 af samme. Anvendelse af kontrolkort såsom figur 5 vil være anvendelig til formålet.

Bemærk også at en serie af kalibreringer med helt samme resultat bør betragtes som tvivlsomme og medføre granskning af procedurer og måleudstyr, da der naturligt vil forekomme variationer imellem kalibreringer udført over tid. Man kan således ikke hovedløst beslutte en forlænget kalibreringsmetode blot fordi kalibreringsresultater ser gode ud. Det er her vigtigt at anvende den *sunde fornuft*.

Driften på et instrument observeret ved kalibrering er både et resultat af instrumentets drift, referenceudstyrets drift samt eventuelle påvirkninger fra miljøet på målingen.

Anvendes følsomt udstyr som reference, så skal dette kontrolleres før og efter selve kalibreringen af et feltinstrument. Viser kontrollen at referencens visning har ændret sig betydende vurderet i forhold

til references gentagelighed, så skal kalibreringsresultatet korrigeres.



Figur 5 Variation af en kontrolmåling over tid.
Langtidsdrift er større end korttidsdrift (Figur 14 fra [1])

Figur 5 viser en trend med et større antal kontroller. Hvis man betragter kurven som måling over et år kan det nemt ses at kalibreringer med kortere intervaller og anvendelse af data vil kunne give en væsentligt mere nøjagtig måling om dette ønskes.

2.5 Tolerancer, acceptgrænser, måleusikkerhed og reference-udstyr

Man kan ikke anvende hvad som helst som referenceudstyr (*arbejdsnormal*). Kvaliteten af dette instrument skal være væsentligt bedre end det instrument, som kontrolleres. Dette skyldes udelukkende at det er det kontrollerede instruments målefejl, som er af interesse.

Udviklingen af måleinstrumenter går ofte ud på at opnå endnu bedre måleusikkerhed i praksis. Man vil derfor i mange tilfælde kunne stå i en situation, hvor referenceudstyret og det kontrollerede instrument vil have samme niveau af nøjagtighed. Ofte vil det dog være således at den kombinerede måleusikkerhed vil være af en størrelse, hvor det ikke har en betydning for acceptgrænserne.

Eksempel: Moderne coriolis flowmetre kan være angivet til at have en måleusikkerhed på 0,1 % og med gentagelighed på 0,05 %. De akkrediterede laboratorier kan ofte kun levere en måleusikkerhed på 0,1 %. Ønskes at eftervise kvaliteten af en måling, er det en omkostelig og besværlig teknik.

Måleusikkerheden på referenceudstyret og det kontrollerede instrument har ligeledes en betydning for hvor snævert en tolerance, som kan anvendes i forbindelse med en kalibrering.

2.5.1 Hvad er sammenhængen imellem usikkerhed, tolerance og acceptgrænse?

Der findes en traditionel anbefaling om at referenceudstyret bør være 10 gang bedre end det målte udstyr. Det er en nem huskeregel. Dog skal man også bør bruge sin sunde fornuft, da det vil være meget svært at overholde for eksempel et krav om 0,05 °C usikkerhed på referenceudstyr og procedure, hvis temperaturmålingen skal være indenfor 0,05 °C. Det kan lade sig gøre under laboratorieforhold men ikke ude i en proces.

Der kan også findes vejledninger, som angiver at forholdet skal være 3:1. I forbindelse med typeprøvning af flowmålere til vand og varme skal referenceudstyret maksimalt have en måleusikkerhed på 1/5 af tolerancen. Hvis denne tolerance ikke overholdes, så skal acceptgrænserne justeres således at der tages højde for den relative store usikkerhed på sammenligningsgrundlaget.

Der henvises til UE A6, som beskriver konsekvenserne af at vælge et måleudstyr med en usikkerhed som er signifikant i forhold til tolerancen, som skal eftervises.

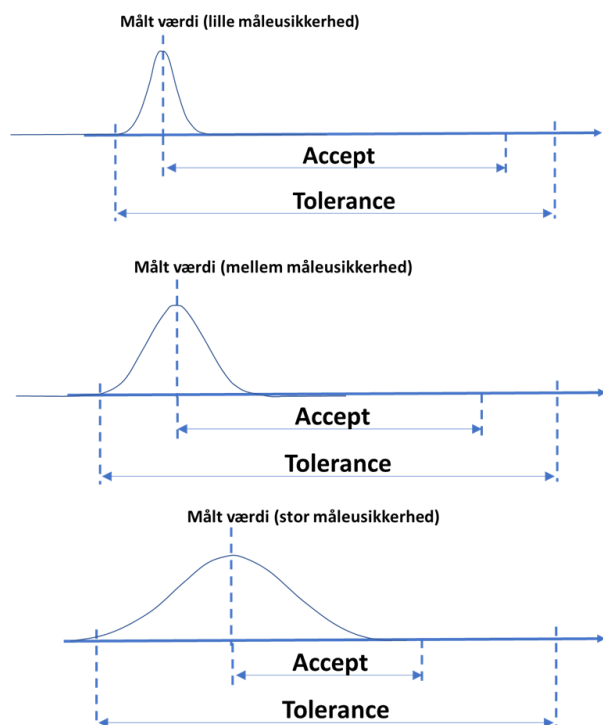
Figur 6 illustrerer at jo større måleudstyrets måleusikkerhed er, jo snævre skal acceptgrænserne i forbindelse med kalibrering være for at opnå samme sikkerhed for at give tolerancer overholdes.

For en kalibrering i felten er det acceptgrænserne, som er af interesse – forudsat at operatøren skal forholde sig til en tolerance og ikke udelukkende fastlægge afvigelserne.

2.5.2 Hvem fastlægger acceptgrænser og tolerancer?

Det er god praksis at den person, som udfører en kalibrering og kontrol, ikke er den person, som fastlægger acceptgrænserne. Denne adskillelse af ansvar sikrer at operatøren ikke justerer

acceptgrænsen for at imødekomme måleresultaterne men også at kalibreringsteknikeren ikke skal bruge tid på at tænke over overholdelse af acceptgrænser, men have fuld fokus på at udføre kalibreringen.



Figur 6 Måleusikkerhed, acceptgrænser og tolerancer.

2.5.3 Valg af referenceudstyr

Korrekt valg af referenceudstyr skal sikre at kalibreringen bliver brugbar. Der vil være følgende primære forhold at tage højde for ved udvælgelse:

- Gentagelighed (nøjagtighed) væsentligt bedre end det målte udstyrs tilsvarende.
- Robusthed.
- Brugervenlighed.

Nogle instrumenter er i dag automatiske – det vil sige at man indtaster ønskede kontrolpunkter og forbinder både indgange og udgange fra det kontrollerede instrument. Herefter vil referenceinstrumentet selv foretage de målinger herunder gentagelser som er nødvendige til kalibreringen og samtidigt gemme data/udskrive rapport om ønsket.

2.6 Specifikationen af procedure

Den gode kalibrering tager udgangspunkt i en velbeskrevet procedure. Denne skal indholde hvorledes man kalibrerer, hvilke parametre som anvendes, hvilke kontrolpunkter og ikke mindst i hvilke tilfælde der skal foretages en justering af en transmitter/sensor med efterfølgende gentagelse af kalibreringen.

2.6.1 Kalibrering – direkte eller indirekte?

Normalen vil være at man kalibrerer direkte på et instrument, men sidder to målere for eksempel tæt på hinanden og måler den samme parameter – for eksempel trykket i procesanlæg, hvor den ene måler anvendes af styringen og den anden til sikkerhedssystemet – så vil man kunne kontrollere begge målinger ud fra kontrol af den ene transmitter. Med andre ord foretage en indirekte kalibrering af den ene transmitter.

Den indirekte metode kræver at der forefindes data som viser at målerne viser ens (indenfor en lille forskel). Hvis kalibreringen af transmitter A viser at denne er OK, så vil transmitter B også være OK. Transmitter B vil så blot have en større usikkerhed som følge af den lille forskel observeret på data.

Hvis to flowmålere sidder i serie og måler en mængde, så vil disse kunne sammenlignes direkte hvis der ikke er nogen sideforgreninger. De to flowmålere skal være monteres således at respektafstande overholdes til flowforstyrrelser og lignende med indflydelse på nøjagtigheden (se også afsnit 6).

Hvis to tryktransmittere sidder i nærheden af hinanden, så vil trykket være ens alt efter om der er et flow.

Hvis to temperaturtransmittere sidder i hinandens nærhed, så skal man passe på idet der selv i et lukket rum kan være forskelle på temperaturen i forskellige positioner. Anvendelsen af den indirekte metode skal derfor anvendes med omtanke og kun når det ikke er muligt at komme til at kalibrere et instrument.

2.6.2 Valg af kontrolparameter

Værdien eller parameteren som ønskes kontrolleret ved kalibrering skal vælges således at den er tilpasset instrumentets brug. For et termometer er det naturligt at måle på temperaturvisningen i °C.

For en vægt kan der være tale om at måle i gram, kilogram eller ton alt efter størrelse.

For en trykmåling kan der være tale om barometrisk tryk, absolut tryk, differenstryk eller relativ tryk.

For en flowmåler kan der være tale om pulser og/eller mA samt om aflæsningen foretages på signaludgangen eller på display.

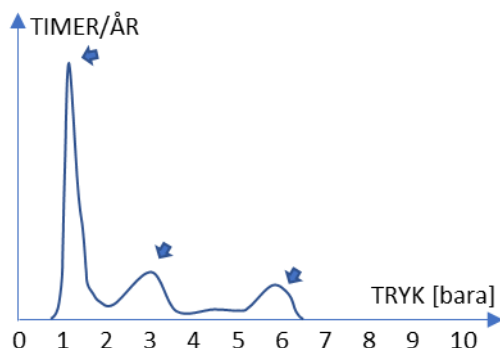
Det er vigtigt for at sikre sporbarhed på driften af et instrument at kontrolparameteren og aflæsningen er den samme fra gang til gang.

2.6.3 Valg af kontrolpunkter

Kontrolpunkter bør vælges således at mindste og største værdi altid beskriver det anvendte driftsområde. Nulpunkt og maksimum er ikke altid et godt valg, da det kan være besværligt at etablere en reference ude i felten. I et laboratorium er dette noget nemmere.

Ofte vælges punkter ud fra en procentdel af maksimalværdien såsom 10 %, 25 %, 50 %, 75 % og 100 %.

Figur 7 illustrerer baggrunden for et alternativt valg af målepunkter: en person ønsker at kalibrere et totaltrykstransmitter i et rørsystemt, som er beregnet til 0-10 bara. Bara er det absolutte tryk. Trykket i forhold til atmosfæretrykket angives som barg eller oftest blot bar.

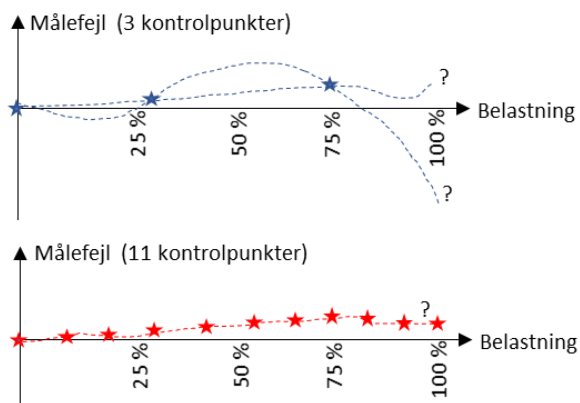


Figur 7 Timefordeling af målingerne for en totaltryks transmitter. Pile markerer typiske driftspunkter.

Det normale driftsområde er koncentreret om atmosfæretrykket men hvor der i perioder også køres med tryksætning ved 3 bara og 6 bara. Figur 7 viser en tænkt timefordeling over en lang periode – muligvis over flere år.

Da mindste tryk er atmosfæretrykket, så er det en unødvendig komplikation at forsøge at etablere vakuum tilstand under kalibrering. Mindste målte atmosfæretryk i Danmark er ifølge DMI målt til 0,944 bara den 20. februar 1907 i Skagen. Det første kontrolpunkt kan derfor lægges ved 0,9 bara. Dette må ikke forveksles med -0,1 barg.

Egentligt burde man vælge det mest typiske driftspunkt ved 1,1 bara som målepunkt, men da der forventes en vis linearitet af instrumentet og der ønskes færrest mulige kontrolpunkter, så vælges kontrolpunkterne 0,9 bara, 3 bara og 6 bara.



Figur 8 Kalibrering viser kun afvigelsen ved de udvalgte målepunkter under selve kalibreringen. Det er ikke muligt at sige noget om kurveforløbet imellem disse punkter. Højere antal punkter giver et bedre grundlag for at udtale sig om lineariteten.

Ved at vælge tre eller flere punkter, så kan man etablere kendskab til en manglende linearitet.

Fintfølende instrumenter hvor der kræves høj nøjagtighed i hele driftsområdet, vil således skulle have væsentligt flere kontrolpunkter end et instrument, hvor der kan accepteres et lavere niveau af nøjagtighed. Dette er beskrevet grafisk på figur 8, hvor målefejlen i kontrolpunkterne er kendte men hvor man ikke kender forløbet ind imellem.

Som beskrevet i afsnit 3.2 så er der flere faldgruber, da datatransmission kan indeholde både forsinkelse og afskæring af signalet. Man skal ligeledes tage højde for om det er muligt at foretage en fornuftig aflæsning. Har et mekaniske instrument en "målestreg" ud for 10 mm og med deling på 1 mm, så skal man ikke gå efter et beregnet kalibreringspunkt på 10.245 mm men derimod det mere naturlige 10.0 mm.

Hvis et instrument er markeret med et driftspunkt, så vil det også være naturligt at kontrollere instrumentet i dette driftspunkt.

Herforuden kan lovgivning eller aftaler fastlægge krav til målepunktet.

2.6.4 Procedure for kalibrering

Proceduren – eller mere præcist fremgangsmåden – skal indeholde flere elementer som beskriver alt fra fremtagning af referenceudstyr og kontrol af samme, hvorledes kalibreringen gennemføres og hvorledes resultaterne skal vurderes.

Reference udstyret

Ved fremtagning af reference skal man kontrollere at det er anvendeligt til formålet. Det er ligeledes vigtigt at sikre sig at der foreligger kalibreringscertifikater, som er gyldige for referencen.

Proceduren skal også indholde hvorledes man funktionstester referenceinstrumentet før brug.

Klargøring af målepunkt

Proceduren skal indholde information om hvorledes målepunktet klargøres til kontrolmåling. Skal der foretages inhibering af signalet (fastlåsning af transmitters output signal) eller kan man blot gennemføre kalibreringen uden at tage hensyn til den senere anvendelse af signalet? Er der sikkerhedsmæssige forhold som skal tages højde for under kalibreringen? Er det overhovedet muligt at foretage kalibreringen pga. vejrforhold?

I nogle anlæg anvendes signalet til efterfølgende online beregninger. Skal man under kalibrering

etablere et fiktivt signal eller skal man acceptere at de efterfølgende beregnede værdier er forkerte.

For miljørapportering er det et lovkrav, at data fra transmitteren gemmes sammen med et kvalitetsflag, som viser om data kan betragtes som valide. Under kalibrering skal dette kvalitetsflag sættes til at data ikke er OK.

En sådan detalje skal også fremgå af proceduren, da det er en del af klargøringen.

Proceduren skal sikre at man ikke igangsætter en kalibrering før at alle ydre parametre er under tilstrækkelig kontrol til at kunne betragte kalibreringen som brugbar.

Motionering af instrumentet anvendes, hvor målingen har været meget konstant for at sikre at instrumentet ikke er "groet fast" til et punkt. Motionering foretages ved at instrumentet cyklisk påtrykkes en værdi højere og lavere end det ønskede målepunkt.

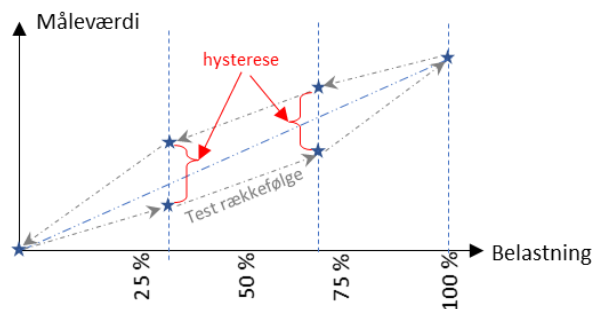
Bemærk at motionering af et instrument medfører at kalibreringen ikke vil være en ægte AS FOUND kalibrering, da man ikke kan vide om instrumentet under drift har været "groet fast".

Kalibreringen

Kalibreringen skal være beskrevet således at den udførende person ikke er i tvivl om ting såsom holdetid, om der skal måles ud fra en sekvens såsom punkt 1-2-3-2-1, hvor mange gentagelser som skal laves, hvor målinger skal registreres og om der skal foretages en justering på baggrund af målingerne.

Gentagelse af målepunkter sikrer at der etableres målinger, som tager hensyn til hysteres og lignende – se figur 9.

Ved temperaturmåling med tørkalibrator eller trykmåling ved automatisk indregulering vil instrumentet automatisk blive udsat for tryk/temperatursvingninger ved indregulering af driftspunktet. Instrumentet vil så at sige ende med en hysteresefri måling.



Figur 9 Hysteresis ved kalibrering

Afslutning

Efter endt kalibrering skal eventuel inhibering, indsætning af fiktive værdier og lignende midlertidige foranstaltninger for at undgå uønskede konsekvenser af kalibreringsarbejdet ændres tilbage til normal drift.

Ligeledes skal referenceudstyret kontrolleret for at det fortsat virker. Hvis ikke, så kender man ikke den reelle reference under kalibreringen.

2.7 Er der behov for justering?

Når der foreligger data fra kalibreringen, så vil tallene med stor sandsynlighed vise, at der er en forskel på reference instrumentet og visningen fra instrumentet under kalibrering. Det er derefter naturligt at overveje om der skal foretages en justering af instrumentet således at forskellen bliver minimeret eller om data blot skal registreres som værende acceptable.

Proceduren bør med udgangspunkt i firmaets kvalitetshåndbog beskrive entydigt om og hvornår en transmitter skal justeres.

2.7.1 Anvendelsen af kontrollkort

Kontrollkort for målingen kan bruges som redskab til at bestemme om der er behov for en justering. Figur 5 viser et kontrollkort som også er behandlet i UE A6 [1].

Kontrollkortet kan anvendes til at fastslå om der er tale om en tilfældig afvigelse eller om der er tale om en systematisk afvigelse, som bør korrigeres væk.

2.7.2 Gennemførelse af justering

Justering foretages i henhold til producentens anvisninger. Det er god praksis at gennemføre justeringen, således at målefejlen er mindst i det mest normale driftspunkt (driftsinterval). Efter en justering skal der altid gennemføres en fornyet kalibrering.

Målingerne før en justering kaldes AS FOUND. Målingerne efter en eller flere justeringer kaldes AS LEFT. Både AS FOUND og AS LEFT dokumentationen skal gemmes som dokumentation.

Anvendes de samme målepunkter til AS LEFT kalibrering som ved AS FOUND kalibreringen opnås bekræftelse på justeringen.

Anvendes nye målepunkter til AS LEFT kalibrering i forhold til målepunkterne anvendt til AS FOUND kalibreringen, dokumenteres ikke blot nøjagtigheden i målepunkterne men også om der er lineariseringsfejl.

AS LEFT dokumentationen dokumenterer foruden dokumentation for overholdelse af acceptgrænser ligeledes efterfølgende målefejl.

AS FOUND dokumentationen anvendes til at vurdere om transmitteren har en drift imellem kalibreringerne, som er uønsket høj og der derfor bør iværksættes flere kalibreringer. En anden funktion ved AS FOUND dokumentationen er ved vurdering af om et måleinstrument skal skiftes som følge af øgende stabilitetsproblemer.

Hvis AS FOUND dokumentationen fra historiske kalibreringer og justeringer viser en skiftevis justering i op- og nedadgående retning, så er det en indikation på at acceptgrænserne for instrumentet er valgt for snævre og bør udvides (eller instrumentet udskiftes til et af bedre kvalitet).

I visse brancher har AS FOUND dokumentationen betydning som dokumentation for at det fremstillede produkt overholder specifikationen.

2.8 Rådata og validerede data

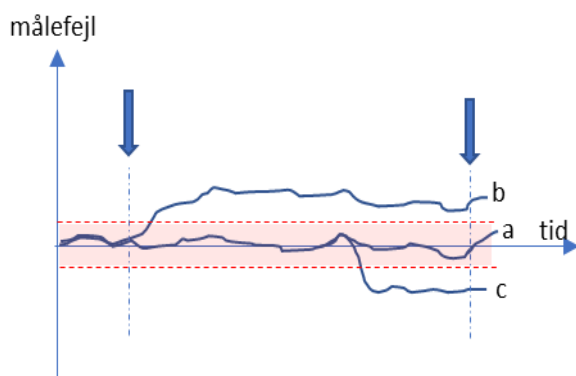
Data fra instrumentet kaldes rådata og skal gemmes som de er. Men ofte anvendes data til anden formål hvor det er nødvendigt at foretages en efterjustering af de beregnede værdier, som er baseret på disse rådata.

For specielt afregningsmålere med stor økonomisk betydning kan der forekomme situationer, hvor en for stor afvigelse ikke blot skal justeres bort men også at historiske data skal justeres.

Korrektion af data må ikke foretages i rådata, da det er vigtigt altid at kunne gå tilbage til råværdierne i tilfælde af at en korrektion ønskes ændret eller gennemgået ved audits. Korrigerede data – kaldet validerede data – skal gemmes sammen med rådata. Med et korrekt opsat datasystem vil de afledte beregninger altid anvende de validerede data.

En kalibrering kan vise at en afvigelse er for stor i forhold til en specificeret tolerance. Kalibreringen viser ikke i hvor lang tid denne tilstand har været tilstede.

Figur 10 illustrerer en situation, hvor der ved den foregående kontrol ikke er konstateret nogen afvigelse men at den aktuelle kontrol har vist en for stor afvigelse.



Figur 10 Tidsforløb for en afvigelse. Tilladt interval er markeret indenfor de stiplede linier. A forløb er accepteret. Forløb b og c er ikke accepteret men starttidspunktet er ikke kendt. De to blå pile markeret tidspunkt for kalibreringerne.

Da afvigelsen er udenfor de accepterede grænser, så vil man i dette eksempel foretage en korrektion af

historiske data for at sikre mest mulig nøjagtighed i den aktuelle afregning.

Baggrunden for en korrektion vil henholdsvis være en beslutning om i hvor lang tid bagud der skal foretages en korrektion og hvor stor denne skal være.

Der er som udgangspunkt tre principper:

- Ved gennemgang af data og krydstjek af tilgængelig information kan en start på afvigelsen identificeres.
- Den halve fejl betragtes som eksisterende i hele perioden fra seneste kalibrering.
- Den fulde fejl betragtes som eksisterende halvvejs siden seneste kalibrering.

Metode i vil være den mest korrekte, såfremt det er muligt at identificere en årsag. Dette er en tidskrævende proces og vil ikke vise nogen klar dato, hvis der er tale om drift af måleudstyr. Er årsagen at en SCADA tekniker for eksempel har indtastet en forkert værdi, så vil der derimod (forhåbentligt) være en meget præcis registrering af tidspunkt. Hvis det ved samme undersøgelse viser sig at årsagen til fejlen er simpel matematisk, så kan data rekonstrueres rimeligt præcist.

Såfremt der ikke kendes en direkte årsag eller kan identificeres et starttidspunkt, så kan metode ii eller iii anvendes.

3 Kalibrering – loop og display

Et dataloop består ofte af flere trin fra selve sensorelementet og til databasen/skærmen, hvor data vises og gemmes.

Figur 11 viser en mulig sammensætning af et dataloop fra sensor til dataopsamlingen. UE A6 [1] beskriver de enkelte led i flere detaljer.

3.1 Skal signalkæden kalibreres som helhed eller som enkelt elementer?

At der foretages en kalibrering skyldes primært at der ønskes etableret en troværdighed på at de gemte værdier (SCADA) viser de faktiske værdier. Figur 11 illustrere to ekstremer i hvorledes denne troværdighed kontrolleres.

Den ene mulighed er at påtrykke sensoren en værdi og derefter sammenligne det viste tal i SCADA. Denne løsning går direkte efter slutmålet – netop at sikre troværdigheden imellem de aflæste værdier og de faktiske værdier.

Fordelen med denne teknik er at der bruges et minimum af tid på kalibreringen. Eventuelle forskelle i loopet som ophæver hinanden observeres ikke.

Den anden mulighed er at måle på hvert led i datakæden. Ulempen er at der er et større antal kalibreringer med dertilhørende risiko for fejlmålinger og konklusioner på det samlede dataloop.

Fordelen er at man får kendskab til de enkelte komponenters tilstand og derigennem muligvis kan identificere stabilitetsproblemer for en komponent før den enkelte komponent bryder sammen.

Den samlede måleusikkerhed består ved måling på hvert led af bidrag fra hver af disse målinger. Da Usikkerheder i værste fald summeres lineært er det klart at det kræver væsentligt bedre måleudstyr til

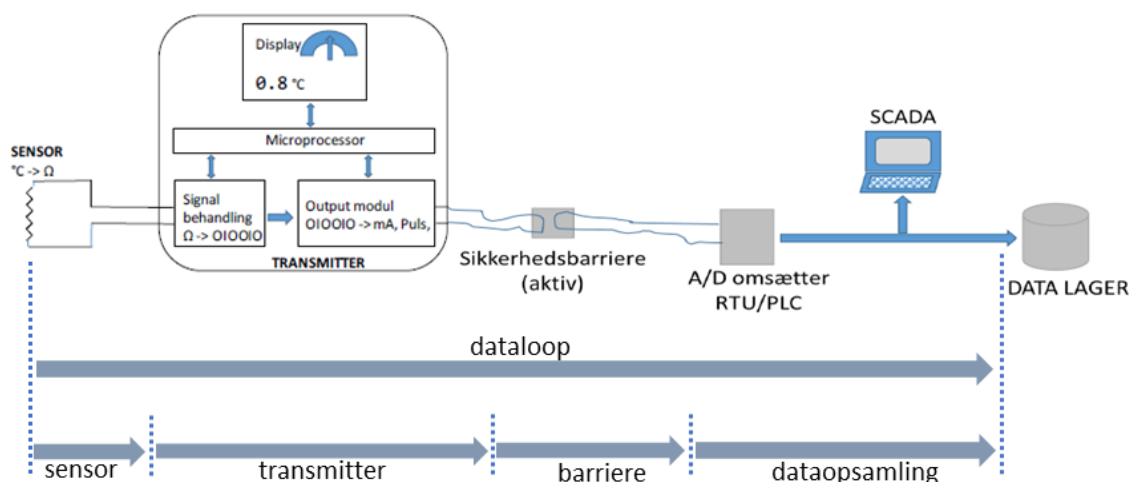
måling af de enkelte led end ved måling på hele loopet, hvis ønsket er den samme samlede måleusikkerhed for begge metoder. Med andre ord kan den direkte sammenligning foretages med mindre fintfølende instrumenter og dermed være en mere robust tilgang.

3.2 Dæmpning, dødbånd, cut-off og afskæring

Det praktiske dataloop indeholder ofte nogle opsætninger som gør at det er muligt at foretage aflæsning af data på skærmen uden at tallene hele tiden varierer.

Dæmpning anvendes til at sikre en rolig visning af data men betyder således også at den viste værdi er en tidsmidlet værdi. Det er vigtigt, at der først foretages aflæsning efter en tilstrækkelig lang tid til at påvirkningen af en dæmpning ikke har betydning. I praksis kan det ses ved at målingen stabiliserer sig omkring en værdi.

Dødbånd anvendes i dataloops til at sikre at en værdi ikke ændres ved mindre ændringer. Dødbånd har i en kalibreringssituation den konsekvens at man ikke kan stole på visningen. Har man ikke noget kendskab til et dødbånd skal man derfor variere påvirkningen af sensoren, kontrollere aflæsningen for derigennem at bekræfte eksistensen af et dødbånd. Selve dødbåndet bør indgå i usikkerhedsberegningen.



Figur 11 Dataloop. Kalibrering mulig enten som én helhed eller ved kalibrering af de enkelte komponenter.

Cut-off anvendes til at sikre at for eksempel en flowmåler ikke viser et flow selvom der ikke er et flow. Man vil ofte gerne have vist nul flow, hvis der ikke er noget flow. For kalibreringen betyder dette at man ikke kan lave en nulpunktskontrol men kun kontrollere ved værdier over cut-off niveauet. Cut-off kan ofte fjernes men skal så indsættes igen efter kalibreringen.

Afskæring giver et forkert billede af overholdelse af range i yderenderne. Det svarer til cut-off og ligger ofte gemt i SCADA systemer eller A/D omsættere. Eksempel er et instrument, som ved 7 bar skal give 20 mA som output. Er SCADA instillet til 4-20mA, så skæres softwaren værdien af ved 20 mA. Af samme grund er det normalt at sikre at range for en transmitter og dataopsamlingssystemet er tilstrækkeligt udvidet i forhold til den faktuelle drift til at kunne håndtere ekstreme værdier.

3.3 Kalibrering af D/D og A/D I/O kort

Normalt betragtes et A/D eller D/D kort ikke som noget der skal kalibreres, da driften ofte er mindre end den usikkerhed, som opstår som følge af antallet af bits (opløsning) eller displayet. Disse indgangskort er dog påvirkelige af temperaturen og drift på blandt andet ydre eller indre shuntmodstande.

Det er derfor vigtigt at kalibrere disse enheder på lige fod med alle øvrige dele i loopet.

Ved kalibrering i forhold til meget fine tolerancer kan man få brug for at skulle foretage kalibrering (og indjustering) af A/D eller D/D kort.

3.4 Displays og stepstørrelse

Det er vigtigt at sikre sig at antallet af cifre og decimaler er til rådighed for aflæsning. Omvendt så kan antallet af decimaler være højere end hvad den reelle usikkerhed beskriver.

Det er god praksis at aflæse alle til rådighed værende decimaler under kalibreringen. Afrunding til to betydende cifre må først gennemføres ved præsentationen af de endelige resultater. I mellemregninger anvendes alle cifre.

Figur 12 viser nogle eksempler på aflæsningsmuligheder.

På digitale displays kan man nogle gange justere på placeringen af decimalerne, således at der opnås en højere nøjagtighed af aflæsningen under for eksempel kalibrering end under normal drift. Dette kendes blandt andet fra vægte, hvor der direkte kan være en knap, som øger displayets visning med en faktor 10.

Som udgangspunkt skal en kalibrering foretages med det display visning, som anvendes af operatøren under normal drift.



Figur 12 Forskellige afløsningsmuligheder.

Nogle gange anvendes ikke aflæsning af displays men derimod opsamling af pulser. Det gælder ligeledes i denne sammenhæng at antallet af cifre skal være passende for aflæsningen.

Uanset aflæsningsmiddel så vil mindste opdeling have en betydning for måleusikkerheden. Dette kan bedst illustreres ved opsamling af pulser, hvor der skal opsamles 1000 pulser for at opnå en aflæsningsusikkerhed på 0,1 %. Ved 100 pulser opnås kun 1 %. Der er her valgt den konservative tilgang at pulserne aflæses med ± 1 puls.

Ved aflæsning af en transmitter 0-10 bara med 1 decimal (0,1 bara), så er den konservative aflæsningsnøjagtigheden ligeledes kun 1 %. Måleusikkerheden kommer aldrig under dette niveau.

Tommelfingerreglen er derfor at aflæsningen skal kunne foretages med 1/1000 af den maksimale visning for at måleafvigelsen kan betragtes som ikke at være styret af selve aflæsningen.

4 On-site kalibrering af tryktransmittere og manometre

On-site kontrol af det enkelte manometer eller tryktransmitter vil normalt kræve at instrumentet isoleres i forhold til det målte medie. Alternativer til dette er at udelukke at kontrollere målingen i det aktuelle driftspunkt eller at der sammenlignes med naboinstrumenter, som skal kunne isoleres for kontrol.

Tryk er nok det nemmeste at måle. Dette skyldes at tryk fordeler sig jævnt i samme punkt og der kun er én afvigelse fra dette i form af det hydrostatiske tryk.

Som beskrevet i UE P1 [2] findes der forskellige betegnelser alt efter trykniveau. Alle har dog det fællestræk at de skal kontrolleres med en passende trykkilde.

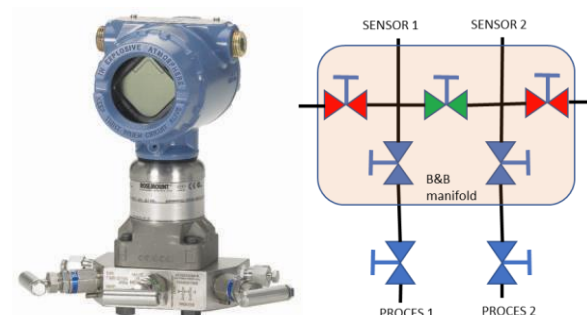
4.1 Isolering af transmitter

Først skal der foretages en sikker isolering af transmitteren i forhold til processen. Der anvendes normalt en 'block and bleed' ventil (BBV), hvor det både er muligt at isolere i forhold til processen samt at fjerne trykket fra transmitteren. Derved kan transmitteren enten udtages og kontrolleres i et laboratorium eller kontrolleres i ønskede driftspunkter på stedet.

Figur 13 viser en isoleringsventil til en systemtryksmåler og en differenstryksmåler med tilhørende ventilskitse. I den nederste del er der dobbelt afspærring af sikkerhedshensyn.

Ved afspærring (blå) og åbning af udluftning (rød) sikres at der ikke er tryk i ventilen. Udluftningsventilerne kan ligeledes anvendes til at påføre en transmitter et tryk med ekstern kilde, hvormed det er muligt at teste ved forskellige tryk.

Åbnes den indre ventil (grøn), så kan nulpunktet for differenstrykmåleren etableres uden større vanskeligheder (*husk at et nulpunkt vist på et display ikke behøver være det rigtige nulpunkt – se afsnit 3.2*).



Figur 13 Eksempel på differenstryk transmitter monteret med Block-and-bleed manifold (Kilde: Hans Buch A/S). Blå ventiler er til afspærring i forhold til proces. Røde ventiler er vent afgang (simpel skrue på billedet til venstre). Grønne ventiler er til intern udbalancering.

Når kontrollen er overstået, så lukkes udluftningsventilerne og indre bypass, hvorefter transmitterens procestilgange åbnes.

Sørg altid for først at åbne for lavtrykssiden til en differenstrykstransmitter samtidigt med at mellemventilen (grøn) er åben. Dette sikrer at systemtrykket ikke u hensigtsmæssigt tilføjer transmitteren et for stort differenstryk fra starten og dermed mulighed for en differenstrykspåvirkning som påvirker målecellen og dermed ødelægger kalibreringsresultatet.

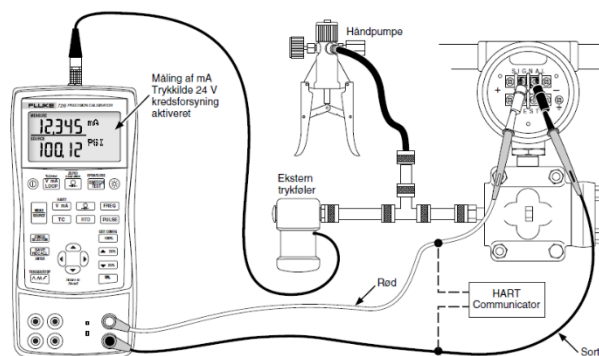
Mellemventilen lukkes, hvorefter højtrykssiden kan åbnes igen og målingen bliver normal.

Ved måling på gas med risiko for kondensering kan udluftningen også bruges til at "blæse" impulsrørende rene for kondensat.

4.2 Referenceudstyr og testopstilling

Referenceudstyret skal som tidligere skrevet kunne anvendes til formålet.

En typisk testopstilling er vist på figur 14, hvor trykket påføres en transmitter via en BBV. Selve trykket etableres via en håndpumpe. Trykket måles også via et referenceinstrument.



Figur 14 Typisk opstilling til måling af tryk. Håndpumpe anvendes til tryksætning. FLUKE 726 anvendes til både at registrere signalet fra referencen samt instrumentet under test. Nogle instrumenter kan tillige købes med indbygget pumpe (Kilde: FLUKE 726, brugsanvisning)

På figur 14 er vist en opstilling hvor registreringsudstyret registrerer værdierne fra transmitteren og referenceinstrumentet. Herforuden fungerer registreringsudstyret som strømforsyning til transmitteren og referencemåleren.

Registreringsudstyret kan bruges som log og rapporteringsenhed men kræver at den enkelte person justerer trykket til de fastsatte niveauer.

Nogle registreringsudstyr har indbyggede automatiske pumper, således at de selv kan gennemløbe et antal kontrolpunkter.

Der gennemgås ikke disse instrumenter men henviser til producenternes dokumentation og manualer for kalibratorer.

Ved måling af lave tryk – barometerværdier samt differenstryk – er det vigtigt at sikre at forsøgsopstillingen ikke er udformet således at der måles et falsk tryk i form af et hydrostatisk tryk.

5 On-site kalibrering af temperaturtransmittere

Hvor kontrol af tryktransmitter er relativt enkelt, så er kontrol af temperaturtransmittere mere problematisk. Som følge af temperatur i modsætning til tryk ikke kan betragtes som homogent – selv i et lukket volumen. Hvor trykket er ens i en beholder under tryk, så vil mediet i samme beholder kunne have forskellige temperaturer. Selv temperaturføleren i sig selv kan være årsag til fejlmålinger.

5.1 Typer af temperatursensorer og transmittere

Temperaturmåling i dette dokument tager udgangspunkt i modstandstermometre, da disse er det normale i process anlæg. For øvrige type henvises til andre UE T1 [3].

Sensorerne kan enten være direkte monteret eller monteret i følerlommet. Indstiksdypden har ligeledes betydning for nøjagtigheden af en måling.

5.1.1 PT100, PT500, PT1000, etc.

Der findes overordnet set mindst tre typer af temperatursensorer. Den ene er baseret på at den elektriske modstand ændres ved en temperaturændring (termistorer og modstandstermometre såsom PT100).

Den anden type er termoelementer, hvor forskelligheder i materialers egenskaber giver en potentialeforskel som afhænger af temperaturen.

Den tredje type er bimetal følerne, hvor det er den termiske udvidelse som giver en mekanisk bevægelse afhængig af temperaturen.

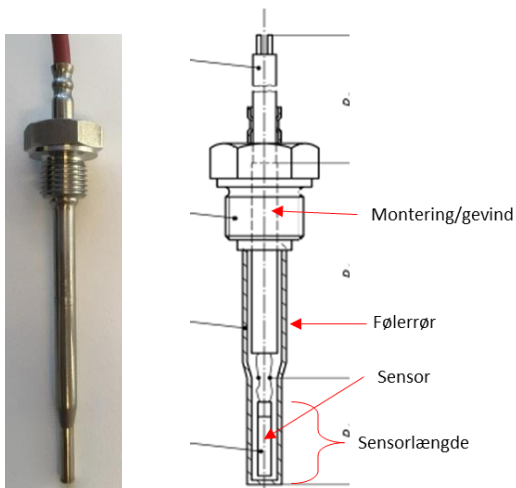
Der henvises til anden litteratur vedrørende detaljer om disse sensortyper.

Med udgangspunkt i kalibrering er det vigtigt at notere sig forskellen imellem principper.

Tabel 1 Forskelle imellem temperaturmåleprincipper

Type	Lineær	Princip	Responstid
Modstand	Ja	Modstand	Langsom
Termoelement	Nej	Potentiale	Hurtig
Bimetal	-	Udvidelse	Hurtig

I forbindelse med kalibrering er det vigtigt at kende sensor typen, da kalibreringsmetoden og procedurerne vil være forskellige alene pga. måleprincippet, lineariteten og responstiden. Alt sammen parametre, som tidligere er beskrevet som kritiske i forhold til valg af procedure.



Figur 15 Tværsnit af PT100 sensor

Figur 15 viser en skitse af en PT100 sensor. Selve sensoren er et relativt kort stykke for enden af hele sensorpinden. Resten er lavet af for eksempel rustfrit stål. Det vigtige under kalibreringen er her at tænke på hvor man måler med sensoren. Mere om dette i et senere afsnit.

5.1.2 Transmitteren

Transmitteren er som for alle andre måletyper en elektronisk enhed som omsætter et sensorsignalet til et standardiseret signal anvendelig til styringsformål etc. Transmitteren kan have et utal af justeringsparametre til fjernelse af ikke-linearitet, støjfølsomhed etc.

Ved kalibrering af transmitteren alene er det vigtigt at lave en AS FOUND-registrering af alle parametre og

en AS LEFT-registrering såfremt der er foretaget justeringer.

5.1.3 Følerlomme

For at kunne udtage sensorer til kalibrering og uden nedlukning af en proces, så anvendes følerlomme. En følerlomme er i princippet blot et følerløb uden på følerløbet. Dette betyder at der introduceres en ekstra tidsforsinkelse samt målefejl. Der kan anvendes termopasta – for eksempel baseret på kobberpartikler opslæmmet i fedt. Denne kontaktpasta anvendes til at sikre mindst mulig temperaturforskel imellem det ydre følerløbs indvendige temperatur og sensor.

Figur 16 viser til venstre en PT100 sensor monteret i et rør. Umiddelbart kan det ikke ses om der er tale om et følerløb eller PT100 sensor. Ved adskillelse ses at PT100 er med fast følerløb. Til højre er vist en alternativ, hvor sensoren er forbundet med blødt kabel.

5.2 Indstiksdybde

Som beskrevet i afsnit 5.1 måler en sensor i et begrænset område – det vil sige at den ikke måler mediets temperatur men kun temperaturen i selve følerpunktet.

Der vil være en temperaturgradient inde i røret som betyder at varme/kulde strømmer langs røret og dermed forstyrrer målingen.

[4] beskriver forskellen imellem kalibreringer med vandbad eller tørkalibrator og hvor der tages højde



Figur 16 Til venstre PT100 monteret i et rør. Midt: PT100 sensoren udtaget af følerløbet (bemærk samlemetoden). Til højre vises en PT500 sensor med blødt kabel, som også kan findes anvendt som moteret til venstre.

for isoleringen. Artiklen viser en forskel på over 0,6 °C under de testede forhold.

[5] beskriver test, hvor der er foretaget forskellige nedstikningsdybder af en PT100 sensor og hvor der er foretaget en vurdering af målefejlen i hvert tilfælde.

[6] Giver nogle anbefalinger for nedsækning (foruden sensorlængden) i forhold til anvendelse og ønsket tolerance i forhold til følerlængdes diameter – f.eks. 5 diameter for 1 % usikkerhed, 10 diameter for 0,01 % usikkerhed og 15 diameter for 0,0001 % usikkerhed. Anvendelsen af disse dybder giver dog ikke sikkerhed for de angivne tolerancer. Der fremføres: *"In all cases where the immersion errors are suspected it's a very simple matter to vary the immersion depth by one or two diameters to see if the reading changes. As a crude approximation about 60 % of the total error is eliminated each time the immersion is increased by 1 effective diameter"*. På simplificeret dansk – prøv at sænke føleren lidt. Hvis målingen ikke giver nogen forskel, så er måleren dybt nok.

Indstiksdybden skal også sikre at der måles den rigtige temperatur i mediet. Et langsomtstrømmende medie i et rør kan have en temperaturforskel (lagdeling).

Det kan derfor være en fordel at montere følerlomme i bøjninger, hvor mediet udsættes for kraftig omrøring hvorved lagdelingen ødelægges. Der er yderligere den fordel at rengøring via CIP/SIP har en større effekt. Det kan være svært at rengøre en følerlomme ved røroverfladen i lange lige rør.

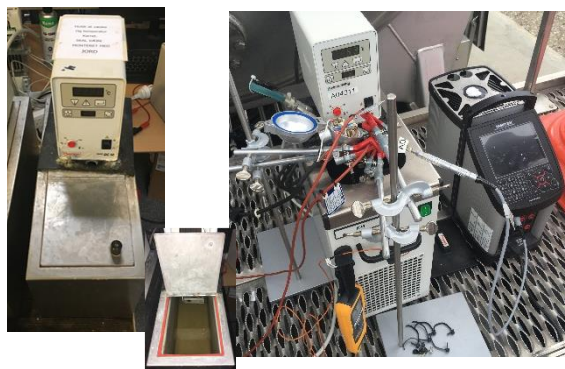
Ved kalibrering er det således vigtigt at huske at to temperatursensorer ikke måler samme værdi, men at det er vigtigt under kalibrering af minimere denne fejl.

5.3 Referenceudstyr

Til praktisk brug kan anvendes to teknikker – vandbad eller tørkalibrator.

5.3.1 Vandbadet

Vandbadet er en direkte løsning til etablering af et temperaturniveau. Ude i felten kan to (gode) termokander med hhv. varmt vand og isvand udgøre det for vandbad med forskellige temperaturer.



Figur 17 Vandbad med indbygget temperaturkontrol. Til højre en anvendelse i praksis, hvor der anvendes en ekstern referenceføler.

Anvendelse af den omgivende luft som et vandbad er også muligt – dog skal det huskes at varmeovergangen fra metal til luft er væsentligt dårligere og dermed langsommere end vandbad.

Anvendelse af vandbad kræver en referencemåler, som er en temperaturføler kalibreret under laboratorieforhold.

Anvendelse af vandbadet kræver omhu med indstikningsdybden og at sikre at referenceføler og sensoren under kalibrering er placeret så tæt på hinanden at man kan antage at deres indbyrdes temperaturforskel er negligibel.

Begrænsningen ved anvendelse af vandbad er temperaturrekkevidden. Ved tilsætning af glykol eller lignende kan vands temperatur reduceres til under frysepunktet for rent vand (0 °C). Kun ved tryksætning kan temperaturer over 100 °C etableres og kun under hensyntagen til sikkerhed. I praksis bør temperaturer over 80 °C undgås. Ved temperaturer derover bør der anvendes et bad, hvor mediet er

silikoneolie eller lignende. Husk blot at der er risiko for personskade allerede ved 54 °C (2. grads forbrænding).

5.3.2 Tørkalibratoren

Tørkalibratoren ligner vandbadet i det omfang at et varmelegeme opvarmer en blok – ikke af vand men af metal – til en ønsket temperatur og hvor temperatursensoren under test stikkes ned i denne blok.

Figur 18 viser en tørkalibrator og anvendelsen af samme.

Det ses at der er et større udvalg af huldiameter til blokken. Da det varmeoverførende medie er luft, så er det vigtigt at anvende det mindst mulige hul for at undgå temperaturfejl.

Selv om tørkalibratoren er med indbygget temperaturmåler så skal der ligesom for vandbad anvendes en reference for at sikre mindst mulig usikkerhed.

Figur 19 viser displayet, hvor der er muligt at angive en ønsket temperatur

Bemærk at der på skærmen angives hvornår der er opnået stabilitet. Dette gælder kunne for tørkalibratorens indre temperaturregulator. Det er vigtigt ikke at betragte denne som et udtryk for hvornår man kan foretage aflæsninger. Denne information kan kun bruges til at vurdere om hvornår man skal begynde at følge temperaturdata for at identificere stabiliteten.



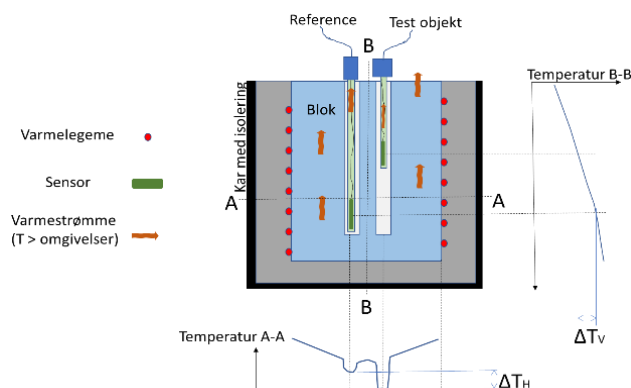
Figur 19 Display fra tørkalibrator

Tørkalibratoren store force er dynamikområdet. Der kan fås tørkalibratore til temperaturrekkevidder fra under -100 °C til over 1.200 °C.



Figur 18 Anvendelse af tørkalibrator. Venstre: PT100 sensor monteret i følerlomme. Midt: PT100 sensor. Højre: PT100 sensor monteret i tørkalibrator. Der anvendes ved denne kalibrering ingen reference.

Som beskrevet i tidligere afsnit er det vigtigt at sensorerne under test er tilstrækkeligt neddykket i forhold til at reducere måleusikkerheden. Dette betyder også at en referenceføler bør have samme udformning og længde som føleren under test (hvis det er muligt). Se figur 20.



Figur 20 Termiske forhold i en blok. Pile viser varmestømme. Kurver viser temperaturkurver.

5.4 Kalibreringsformer.

Specielt for temperaturkalibrering i felten er der flere variationer som kan vælges ud fra ønsket usikkerhed eller tidsforbrug (=omkostning). Der er herunder listet i rækkefølge, hvor a) vil formodes at have den bedste nøjagtighed.

- Montering af et nykalibreret præcisionstermometer i målepunktet i processen tæt ved positionen for sensor under kontrol og uden dykrør etc.
- Udtagning af sensor og transmitter af anlæg og indsendelse til akkrediteret laboratorie (eget laboratorium).
- Udtagning af sensor af anlæg for kontrol mod reference i eget lab. Transmitter kontrolleres on-site med simulator.
- Transmitter kontrolleres on-site med simulator. Sensors usikkerhed antages at være i henhold til standarden for den specifikke type af sensor.
- Temperaturen sammenlignes med "nabo" temperaturfølere men kontrolleres ikke.

Løsning a) vil være den mest præcise men kræver at kontrolsensoren placeres tæt på og i samme måledybde. Ved denne teknik fjernes usikkerhed fra anvendelsen af en følerlomme og eventuelle forkert

indstiktsdybde. Til gengæld haves en usikkerhed som følge af at de to målinger ikke er placeret helt ens geometrisk. Det er dog sjældent, at det er muligt at bruge denne løsning.

Der kan ikke sættes eksakte guidelines på hvornår den enkelte metode vælges eller skal fravælges. Det vil være op til den kalibreringsansvarlige at estimere usikkerheden og de økonomiske forhold for den enkelte løsning.

5.5 Opsummering

Det essentielle i kalibrering af en temperaturføler er at sikre at temperaturen målt også er den temperatur, som man ønsker målt.

Kalibrering af temperatursensorer er en af de mest tidskrævende kalibreringer, da der skal tages højde for at temperaturen i et materiale ikke ændres spontant.

6 On-site kalibrering af flowmålere

Udfordringen ved on-site kalibrering af flowmålere ligger i sværhedsgrad imellem trykmåling og temperaturmåling. Flowmåling i rør giver kontrollerede omgivelser. Flowmåling udenfor rør giver kun mening for væsker. Det er ikke praktisk muligt at etablere en reference for luft i et åbent område.

Ligeledes vil kalibrering på stedet ofte kun kunne gøres ved de flowrater, som er forekommende i processen med mindre det er muligt at stoppe processen midlertidigt.

Dette afsnit forholder sig kun til nogle typiske situationer, hvor der er brug for en kalibrering.

Den overordnede procedure er som for andre typer af kalibreringer at der foretages et antal gentagelser i hvert kontrolpunkt. Resultatet er gennemsnittet af disse gentagelser. Variationen på gentagelserne er et udtryk for en kombination af måleinstrumentets gentagelighed, stabiliteten og påvirkningen fra de ydre forhold.

6.1 Væske i rør

Før man kalibrerer en flowmåler til måling af væskeflow skal der stilles nogle spørgsmål:

- Hvor nøjagtigt ønskes kalibreret?
- Kan jeg tage væske ud af processen?
- Er det sikkert at komme i kontakt med væsken?
- Er processen etableret med kalibreringsudstyr?

Er det ikke sikkert at komme i kontakt med væsken (temperatur, tryk eller f.eks. giftighed) og der ikke er indbygget en mulighed for at installere et ekstra flowmeter, så bør der overvejes at anvende en clamp-on måler. Denne vil dog ikke have nogen stor nøjagtighed – specielt for komprimeret luft/gas.

Ønskes omvendt en lav usikkerhed og det er muligt at udtage væsken fra processen, så er løsningen at anvende en vægt. Imellem disse er anvendelsen af master-slave (eller prover) systemer som beskrevet i 6.1.2, hvor den anvendte flowmåler kontrolleres op imod en flowmåler som har været til kontrol i et laboratorium.

Er der brug for meget lille usikkerhed og mediet ikke kan fjernes fra processen, så er det eksperter med laserudstyr eller lignende som skal kontaktes. Det vil ikke blive beskrevet nærmere i dette dokument.

6.1.1 Clamp-on

Måling med clamp-on udstyr er beskrevet i UE F1 [7].

Figur 21 viser en opstilling hvor der er anvendt clamp-on udstyr til kontrol af en flowmåler. Clamp-on måleren er monteret opstrøms for måleren i et ret rørstykke. Hvad der ikke ses, er at rørdiameteren ændres opstrøms for clamp-on måleren hvilket igen betyder at der ikke kan være tale om ideelle flowprofiler. Måleusikkerheden øges dermed. Vurderingen for denne opstilling er at usikkerheden for referencemålingen er ca. 4 % som følge af rørdiameter og strømnsforhold.

En søgning på internettets resources vil kunne vise artikler som argumenterer for fejl op til 10 % og ligeledes andre, som med gode rør har kunnet opnå væsentligt bedre måling specielt ved anvendelse af

lange lige rørstrækninger og dermed fuldt udviklet hastighedsprofil.



Figur 21 Måling med clamp-on udstyr på vandrør.
(Kilde: NORFORS).

En god clamp-on måling kræver at rørets indvendige overflade er pæn og med målbar kendt tykkelse. Liner (indvendig belægning) indvendigt i røret kan gøre det umuligt at fastslå godstykkelser og dermed ødelægge anvendelsen af en clamp-on måler. Den gode clamp-on måling kræver også at der er god kontakt imellem røret yderside og transducerne foruden at der ved monteringen er valgt den position, som giver det bedste støj-signal forhold.

Clamp-on udstyr kræver kalibrering. I princippet skal udstyret kalibreres på samme type rør som anvendes hvor clamp-on måleren skal anvendes.

6.1.2 Master-slave

Master-slave løsningen er i princippet meget enkelt. En flowmåler med god kalibrering – for eksempel en coriolis måler – sættes i serie med eksisterende flowmålere. Derved sammenlignes 2 målinger af samme væskeflow.

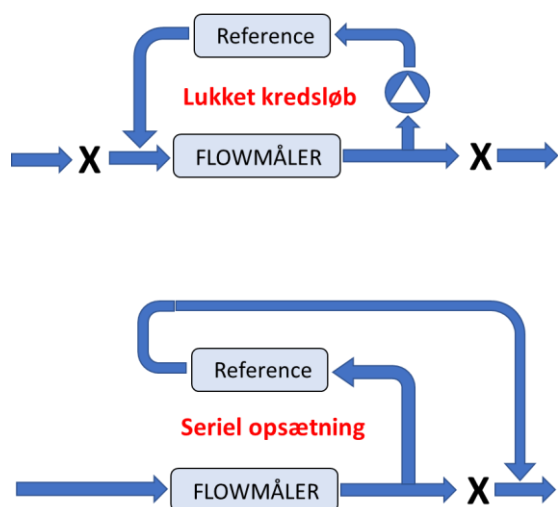
Figur 22 viser to forskellige principielle opstillinger, som har det tilfælles at det er den samme mængde væske, som passerer igennem de 2 flowmålere.

For at dette skal lykkes, så er der nogle få ting som skal være i orden:

Opspændingen imellem de to flowmålere må ikke kunne påvirke flowmålingen. Derfor ses ofte at referencemåleren forbindes til processen via bløde

slanger. Referencemålerens opspænding skal således være "stift".

Eksempel er anvendelsen af coriolis flowmåler som reference. Coriolis måleren er solgt på meget god nøjagtighed og derfor interessant. Men en af faldgruberne er at denne måler type er meget følsom overfor indspændingsforhold og vibrationer. Anvendes denne type måler så skal den være indsat i et stift gitterstruktur således at alle forekommende ydre påvirkninger ikke når ind til coriolis måleren.



Figur 22 Anvendelse af ekstern måler til kontrol af flowmåler. Samme mængde vand passerer igennem begge målere. X markerer lukket ventil.

De lige rørstrækninger må ikke reduceres ved montage af referencemetret. Hvis dette sker, så stiger usikkerheden automatisk.

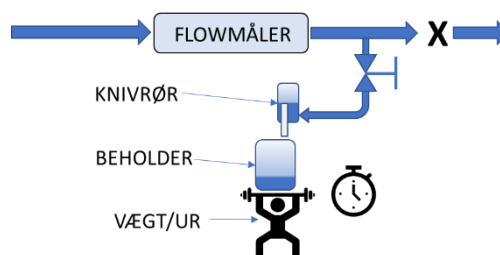
Referencen er kalibreret på et akkrediteret laboratorium med det medie, som er tilstede der. Mediet i processen kan være noget andet og af en karakter, hvor det kan påvirke flowmålingen og dermed give falsk tryghed.

Tilsvarende kan temperatur og tryk være forskellig i processen sammenlignet med forholdene ved det akkrediterede laboratorium. Dette kan for nogle flowmåler typer have en betydning for nøjagtigheden.

En sikker kilde til måleusikkerhed er luft i væsken. Det er særdeles vigtigt at få luftet rørstrengen ud således at der ikke måles på luft og væske.

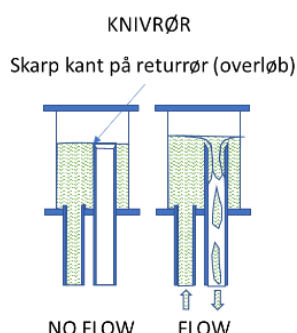
6.1.3 Imod vægt.

En af de basale måleenheder er masse. Den laveste måleusikkerhed opnås hvis det er muligt at udtage væske af processen og foretage en afvejning. Uanset forskelle i processens temperatur og tryk er massen ens. Omregning til volumen sker via densiteten som også vil kunne fastlægges ved udtagning af væske til måling udenfor processen.



Figur 23 Princip for måling af væske imod vægt. X markerer lukket ventil.

Opstillingen består af en vægt og stopur. Derforuden en beholder og knivrør, se figur 23. Funktionen af knivrøret er at sikre at væskestanden før og efter er præcis den samme, hvorfor det er vigtigt at denne er lodret monteret, se figur 24.



Figur 24 Knivrør. En skarp kant sikrer at væskens niveau før og efter er præcist den samme = mængden af væske igennem måleren er også mængden af væske løbet ned i tanken. Til højre et billede af en fysisk knivrør.

Ventilen som anvendes ved start og stop bør placeres kort før knivrøret. Dette skyldes den simple ting at "vandsøjlen" imellem ventilen og knivrøret skal bremses ved lukning. Er der anvendt fleksible rør, små luftindslutninger samt anvendes en hurtig lukning af ventiler vil dette betyde at væskesøjlen ved knivrøret falder under niveau for knivrørets kant som en følge af impulsmomentet af vandet (Prøv med en fyldt vandflaske uden prop at foretage en bevægelse mod

flaskeåbningen og stoppe bevægelsen pludseligt. Noget af vandet vil fortsætte).

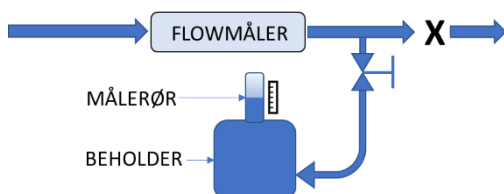
Som ved metoden med serieforbundne flowmålere er det vigtigt at der ikke er luft i systemet. Dertil kommer at der altid skal laves et "gratis skud", da beholderen skal gøres våd indvendigt. Denne ubetydelige væskefilm vil også have en vægt, som skal medtages.

Største usikkerheder ved denne metode er vægts opløsning, vandets fordampning samt opdriften. Sidstenævnte skyldes at væsken fortrænger luft, hvilket igen betyder at vægten af den fortrængte luft skal medtages (minus fortegn) for at vægten viser den korrekte masse. Da vand vejer cirka 1.000 kg/m^3 og luft cirka 1 kg/m^3 , så vil der ved en vand/luft måling være en fejl på 0,1 %, hvis der ikke medtages denne korrektion.

Det er også vigtigt at sikre at der er en vis dryptid – det vil sige at man afventer aflæsning af vægten indtil man har ventet på at de sidste dråber fra knivrøret er faldet ned i beholderen.

6.1.4 Imod volumen.

Ønskes at flowmålerens angivne volumen skal kontrolleres op imod en reference. Dertil anvendes en volumennormal, se figur 25.



Figur 25 Princip når der anvendes volumennormal. X markerer lukket ventil.

Volumennormalen er kendetegnet ved at være en beholder hvorpå der er sat et målerør. Dennes diameter er valgt således at f.eks. 1 cm væskestigning svarer til 1 o/oo af tankens totale volumen. Målerøret kan være med en længde på $\pm 20 \text{ cm}$, hvorfor dette svarer til $\pm 2 \%$.

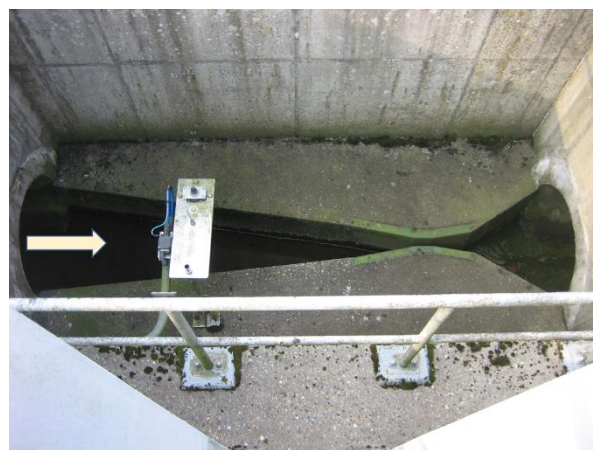
Teknikken gør det muligt at fastlægge et volumen med stor nøjagtighed, som det vil være krævet ved kontrol af for eksempel benzinstandere.

Ulempen ved denne teknik er at flowmålerens volumenopløsning skal være passende i forhold til målerøret opløsning samt at der skal foretages temperaturkompensation. 1 kg væske vejer 1 kg men fylder mere eller mindre alt efter temperaturen.

Der gælder det samme som ved vægten at dryptid og det *gratis skud* er nødvendige for at kunne opnå den bedste måleusikkerhed ved kalibreringen.

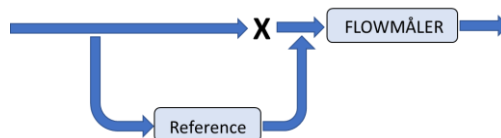
6.2 Væske i åbne kanaler

Der er målesystemer anvendt til blandt andet miljørapportering som anvender åbne kanaler eller mere enkelt delvis fyldte rør. Konceptet er det samme, at der ikke er tale om et væskeflowstværsnit, som er nemt at håndtere.



Figur 26 Åben kanal måler (kilde: Orsted S&D A/S **).

Figur 26 viser et eksempel på en åben kanal måler kaldet en Parshall måler. Som en følge af at alt vandet skal passere det snævre punkt i kanalen, så vil vandstanden før indsnævringen være en funktion af vandgennemstrømningen (drivende trykforskel = højdeforskel imellem væskesøjlen på hver side af indsnævringen). Den elektroniske måler er her en radarmåling.



Figur 27 Princip ved måling på åben rende. X markerer lukket ventil.

Kalibrering af en sådan type måler kræver at tilløbet bliver afspærret og der tilføres en kontrolleret

mængde vand. Derefter er der ingen forskel til andre typer af kalibreringer.

Ved delvist fyldte rør kan opsætningen vist på figurerne 22, 23 og 25 også anvendes så længe man sikrer at referencemåleren er fyldt og at der ikke trækkes luft med.

6.3 Luft (gas) i rør

Den store forskel på væskestrømning i rør og gas/luftstrømning i rør er densiteten af mediet og dermed også bevægelsesenergien.

Som udgangspunkt kan samme principper som for væske anvendes. Der findes flowmålere til luft og der findes også vægte og volumennormaler til luft. Men da vægten af luft er lille i forhold til væske og ofte identisk med den omgivende luft, så vil dette være principper, som ikke anvendes ude i en proces.

6.3.1 Clamp-on

Måling med clamp-on udstyr til luft kræver en vis densitet for at lydbølgerne kan bevæge sig igennem mediet og være så kraftigt at elektronikken kan se forskel på passagen igennem mediet og igennem rørvæggen. En tommelfingerregel er at clampon måling kan bruges ned til 5 barg ved anvendelse af de bedste målere. Se i databladene for yderligere info.

6.3.2 Pitotrør

En klassisk målemetode til luftstrømninger er anvendelsen af pitotrør. Disse kan anvendes til kalibrering af beregnede luftstrømme. Figur 28 viser et eksempel på anvendelse af pitotrør til gasstrømme i en skorsten, hvor skorstenens isolering og væg tilsammen er 1.8 m.



Figur 28 Måling med pitotrør en sommerdag højt oppe i en skorsten. Pil angiver pitotrøret.

Det vigtige ved anvendelse af pitotrør er at man skal være helt sikker på at der måles en god fordeling uden rotation eller tilbagestrømning. Dertil findes flere varianter af pitotrør.

Ved anvendelse af pitotrør skal der foretages en traversering således at der måles mange steder i tværsnittet. Ud fra valg af målepunkter jævnfør standarderne er det muligt at omsætte de enkelte målinger til en samlet flowmængde. Se MEL-25 [8].

6.3.3 Anemometer (turbine)

Et anemometer – hvilket er en turbine måler - er ligeledes en klassisk målemetode til fastlæggelse af enten luft eller væskestrømning.

Anemotrets hjul roterer ideelt proportionalt med vind/vand hastigheden. Ved måling i flere punkter i et rør eller kanal etableres et kendskab til lokale hastigheder. Har man tilstrækkeligt af disse vil man via matematiske modeller kunne beregne en volumenstrøm. Usikkerheden er relativt stor i forhold til måling med et flowmeter, som måler over hele røret.

7 On-site kalibrering af vægte

Kalibrering af en vægt er umiddelbart en enkel sag. Man tager nogle kendte vægte og registrerer visningen. Virkeligheden er en anden.

7.1 Udfordringer

Vægte bør kalibreres på stedet og under de klimatiske forhold, som er gældende under den daglige brug. Her skal blot nævnes tre forhold som er kritiske.

Tyngdekraften er ikke konstant. Den varierer fra sted til sted alt efter jordklodens radius, som er mindst ved ækvator og størst ved de geografiske poler. I teorien vil man kunne måle en forskel imellem om man står på toppen af Himmelsbjerget eller ved foden af samme.

[11] angiver den simple formel $g = 9,80612 - 0,025865 \cdot \cos(2\phi) + 0,000058 \cdot \cos^2(2\phi)$ [m/s²], hvor ϕ er breddegraden.

Eksempel: Skagen ligger på 57,725004 °N. Nordborg ligger på 55,055721 °N.

Tyngdeaccelerationen i Skagen er 9,817246 m/s². Tyngdeaccelerationen i Nordborg er 9,815020 m/s².

Forskellen er måske ikke umiddelbart tydeligt men ved efterregning kan ses at der er en forskel på 0,023 %. Er du fiskehandler, så skal du således køre til Skagen for at få kalibreret vægten, køre syd til Esbjerg for at købe fisk, køre videre til Nordborg for at kalibrere vægten, hvorefter du sælger fisken i Aarhus (med fortjeneste – om end meget lille).

Luftens densitet varierer alt efter temperatur, lufttryk og luftfugtigheden. Da et lod som placeres på en vægt fortrænger luft med tilsvarende volumen, så vil den reelle ændring af den målte vægt være forskelligt alt efter luftens egenskaber. Densiteten af lufts ændres for eksempel imellem ca. 1,3 kg/m³ til 1,16 kg/m³ i intervallet 0 °C til 30 °C. Dette er en ændring på ca. 12 %.

Anvendes et lod med en densitet på 7.800 kg/m³, så vil den reelle påtrykte vægt variere imellem 7.798,70 kg/m³ og 7.798,84 kg/m³. Dette er en forskel på lidt under 0,01 %.

Luft flow kan også være problematisk, da luft i bevægelse omkring et legeme påtrykker en mekanisk kraft. Ved meget fine kalibreringer så skal dette foretages i et rum med stillestående luft. Små vægte ses ofte med glasbur omkring netop for at sikre imod ydre påvirkninger.

Eksempel er en cylinder, 0,5 m høj og med 0,3 m diameter, udsættes for et tværs luftflow ved 20 °C og almindelig luft. I denne situation påvirkes cylindren af en horisontal kraft på ca 30 gram. Hvis der ønskes afmålt små mængder, så kan dette begynde af have en betydning.

Stabilitet af vejeceller er ligeledes en parameter. Vejeceller baseres ofte på omsættelse af en belastning til elektrisk modstand såsom strainingates. Vejecellerne er også følsomme overfor skæve påvirkning og temperaturændringer. Det samme gælder for al elektronik.

7.2 Vægten

En vægt består af en eller flere vejeceller, som på toppen har monteret en plade til placering af det, som skal vejes. Dette lyder for de fleste som naturligt. For vægte gælder at den gode måling er forbundet med at alle vejecellerne belastes lige kraftigt samt at vejecellerne belastes i den rigtige retning. Omskrevet svarer dette til at vægtene anvendt til kalibrering skal placeres symmetrisk omkring centrum samt at vægten skal være i vater. Sidstnævnte kræves idet tyngdekraftens retning skal være i den ønskede belastnings retning og ikke have en horisontal komponent.

At vægten står lige kan ses på libellen, som alle vægte bør være udstyret med.

Figur 29 viser en laboratorievægt og tilhørende libelle.



Figur 29 Vægt. Bemærk libellens placering og indstilling.

En vægt bør altid placeres hvor der er kontrol med den omgivende luft af de årsager som tidligere er nævnt i afsnit 7.1. Man kan derfor ikke kalibrere eller anvende en vægt et tilfældigt sted uden at det koster nøjagtighed.

Ved kalibrering påsættes skiftevis lodder eller belastning med kendt størrelse, hvilket sammenlignes med instrumentets visning. Som for afvejning af vand er det vigtigt at medtage den fortrængte lufts masse, hvis der ønskes opnået en høj nøjagtighed.

Ved at tilføje meget små lodder kan skiftepunktet for sidste decimal identificeres.

Af hensyn til hysteres skal der køres op og ned i vægt under kalibreringen.

Hvis man har et begrænset mængde lodder men mulighed for at tilføre vand, så kan man lave et "skift". Man starter med at placere lodder med samlet kendt vægt og registrere visningen. Herefter fjerner lodderne og erstattes med den mængde vand, som giver netop den registrerede visning. Herefter anvendes lodderne igen. På denne måde kan man komme højt op i vægt med få lodder.

7.3 Referencen (loddet)

Lodder kan enten være verificerede eller kalibrerede. Verificerede lodder anvendes i en balancevægt hvor loddet i sig selv indgår i fastlæggelse af vejningen. Kalibrerede lodder må kun anvendes til kalibrering af en vægt, som anvender anden form for måling af vægten.

Figur 30 viser lodder af forskellige størrelser fra 20 kg og ned til 2 gram.



2 kg 200 gram 50 gram 2 gram



Figur 30 Kalibrerede lodder til kontrol af vægte. 10 kg lodder er størst tilladte uden løftegrej af hensyn til arbejdsmiljø.

Af hensyn til arbejdsmiljøet må et lod ikke veje over 10 kg, hvis den skal håndteres håndbåret. Lod må godt være tungere men så skal der anvendes kranudstyr.

Specielt for små lodder er det vigtigt at anvende handsker eller/og tænger. Selv en tyndt lag hudfedt vil betyde at vægten er afvigende fra den kalibrerede værdi. Ligeledes skal alle lodder håndteres og opbevares således at de ikke får skader, hvorved loddet ikke kan betragtes som værende kalibreret.

Som nævnt i afsnit 7.2 kan vand anvendes som lod i stedet for fysiske lodder ved at påfylde en kontrolleret belastning i form af en kendt mængde vand. Flowmålere eller volumennormaler kan fås med god nøjagtighed – dog ikke til samme niveau som med lodder. Princippet følger figur 23 men hvor

referencen er mængden afmålt af flowmåleren og hvor det er vægtens visning, som skal eftervises.

Det er vigtigt at proceduren beskriver alle dele af hvorledes der etableres en referencetilstand, hvorledes kalibreringen foretages og hvorledes resultaterne håndteres efterfølgende.

8 Opsummering

Muligheden for on-site kalibrering er en mulighed for at spare penge sammenlignet med at udtage instrumenter fra en måleposition og kontrollere instrumentet i et laboratorium. Samtidigt er on-site kalibrering en mulighed for at få kontrolleret instrumenterne under de faktiske miljøforhold og dermed eliminere nogle af de målefejl, som opstår ved at man måler på et instrument væk fra den normale position.

Det primære redskab er sund fornuft. Det er ikke noget som læres men skal erfares. Kalibrering er en specialisatopgave.

Muligheden kan også ende med et mareridt, hvis on-site kalibreringen ikke gøres korrekt og at der ikke tages højde for de fejlkilder som også eksisterer på stedet.

Dette undervisningsmateriale har ikke beskrevet hvorledes man skal kalibrere i det enkelte tilfælde men samlet en mængde forskellige betragtninger på hvorledes noget kan gøres. Det er vigtigt at der i det enkelte tilfælde laves en specifik vurdering af hvorledes kalibreringen skal foretages.

En kalibrering giver ingen værdi med mindre resultatet bruges til enten at kontrollere i forhold til en tolerance eller som datakorrektion. For begge gælder at måleusikkerheden – det vil sige kombinationen af referenceinstrumentets usikkerhed, metodeusikkerhed og det målte instruments gentagelighed – er vigtigt at få fastslået.

Ved sammenligning med en tolerance eller/og acceptgrænse skal måleusikkerheden helst være væsentligt lavere end acceptgrænserne for at der kan foretages en beslutning om overholdes. Anvendes måleresultatet som datakorrektion, så vil de korrigerede data også være med forøget usikkerhed, hvilken igen er en ulempe hvis måleusikkerheden er for stor.

Nøgleinstrumentet for den gode kalibrering er nogle gode procedurer for opgaven samt gode referenceinstrumenter.

9 Krydsreferencer til UE

Det er i dette undervisningselement ikke tilsigtet at give en uddybende beskrivelse af udstyr og teknik, hvor dette allerede er beskrevet i andre undervisningselementer. Der er derfor oprettet en kort liste til uddybelse og fordybelse i specifikke emner.

Afsnit	Emne	For fordybelse – se følgende referencer
1.0	Bidrag til måleusikkerheder	UE A1 – afsnit 8
2.1	Sporbarhedskæden	UE A1 – afsnit 4
2.4	Frekvens for kalibrering	UE A1 – afsnit 5
2.5.1	Måleusikkerhed og overholdelse af tolerancer	UE A1 – afsnit 6
	Usikkerhedsberegning generelt	UE A3
	Sammenhæng imellem tolerance og usikkerhed	UE A5 – afsnit 3 og 4
2.5.3	Valg af referenceudstyr (normal) og vedligehold	UE A1 – afsnit 3 UE A1 – afsnit 7 og 7.1 (vedligehold)
2.6.3	Valg af kontrolpunkter	UE A1 – afsnit 5.2 og 5.3
2.7.1	Anvendelse af kontrolkort	UE A1 – afsnit 7.2
	Anvendelse af kontrolkort	UE A6 – afsnit 3.5
2.7.2	Justering af transmitter	UE A6 – afsnit 3.5
2.8	Dokumentation	UE A1 – afsnit 7.2 (logbog)
3	Kalibrering - loop og display	UE A6 – afsnit 2 (signalkæde)

10 Referencer

- [1] »UE A6 - Signalkæder og aflæsning af data,« metrologi.dk, 2018.
- [2] »P1 - Trykmåling,« Metrologi.dk, 2018.
- [3] »T1 - temperaturmåling,« Metrologi.dk, 2018.
- [4] T. M. Hansen, »Calibrating short and sanitary sensors using state-of-art dry-block technology,« AMETEK A/S, unknown year.
- [5] M. Hirst, »What are Stem Conducting Errors and How Can They Create Errors in Calibration,« Fluke Hart Scientific, 2008.
- [6] J. P. Tavener, »Temperature Calibration; Depths of Immersion,« i *Test and Measure Conference*, 2006.
- [7] »F1 - Introduktion til flowmåling,« Metrologi.dk, 2018.
- [8] »MEL-25: Bestemmelse af volumenstrøm i kanaler,« Referencelaboratoriet, 2014.
- [9] »UE A1 - INTRODUKTION TIL MÅLINGER,« Metrologi.dk, 2018.
- [10] »UE A5 - Måleusikkerhed og overholdelse af tolerance,« Metrologi.dk, 2018.
- [11] O. W. Dietrich, »Ove W. Dietrich: tyngdeacceleration i Den Store Danske, Gyldendal. Hentet 11. september 2019 fra <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=175601>,« [Online].