

# Check på hele målekæden

## - analyse og dokumentation af målekæde i virksomhed

Der indgår typisk seks hovedelementer, når en målekæde skal analyseres og dokumenteres.

### Af Jan Nielsen, Teknologisk Institut, Installation og Kalibrering

I procesindustrien er produktion og produkter præget af målinger. Måletekniske elementer indgår typisk ved kontrol og styring af processer og produkter, dokumentation og ikke mindst ved databehandling og -validering. Kravene til virksomhederne ændrer sig hele tiden, og der er brug for tiltag for at tilpasse sig de nye udfordringer.

### Fem målsætninger

Industriens drivkraft til forandring og forbedring vil typisk være:

- Opfyldelse af myndigheds- og brugerkrav.
- Omkostningsreduktion: Ønsket

### Elektrisk støj - en betydelig usikkerhedskilde

Elektrisk støj kan have forskellige oprindelser og natur (f.eks. høj- eller lavfrekvent), og er en betydelig usikkerhedskilde i en måleinstallation.

Afhængig af støjens natur bruges forskellige teknikker til at reducere eller undgå den. I praksis er det vores erfaring, at elektrisk støj i de fleste tilfælde vekselvirker med målekæden via forsyningsnettet.

**Tommelfingerregler** i bekæmpelse af støjproblemer er bl.a.:

- Korrekt jording af alle instrumenter, kabler etc. - jord kun ét sted!
- Brug skærmede kabler.
- Sno alle ledningspar.
- Adskil forsynings- og målekabler fysisk (dvs. ikke i samme kabelbakke).

om øget effektivitet, færre driftsstop og kassationer.

- **Fleksibilitet:** Hurtig og fleksibel tilpasning af processer og tilhørende måleopstillinger.
- **Kvalitetssikring:** Opfyldelse af standarder som f.eks. ISO 9000.
- **Fornyelse (innovation).**

I det efterfølgende diskuteres nogle eksempler. Her vises hvordan eksterne og interne krav relateret til måletekniske problemstillinger har betydet, at de involverede virksomheder har fået behov for at gå ind og se nærmere på hele målekæden. Eksemplerne giver ligeledes et bud på, hvordan problemet kan gribes an i praksis.

Artiklen er en opfølgning på artiklen: Måling ved industrielle processer, Teknisk Nyt Special 38/2004 side 53-57.

### CASE 1: Opfyldelse af myndigheds- og brugerkrav

Nye love, EU-direktiver og standarder stiller ofte øget krav til måleteknisk dokumentation. F.eks. har danske eksportvirksomheder inden for fødevarer- og medicalsektoren de senere år oplevet stigende krav fra »US Food and Drug Administration - FDA« omkring dokumentation af hele målekæden, validering og usikkerhedsberegning.

Et konkret eksempel, som forfatteren blev

konfronteret med for nylig, var fra en dansk fødevarerproducent. Virksomheden var af FDA blevet bedt om at dokumentere, hvorfor et godkendelseskriterium - i forbindelse med en kontrolmåling på en procestemperatur - netop var valgt som det var. Ligeledes skulle virksomheden redegøre for, om usikkerheden på målingen var acceptabel i forhold til den tolerance, som skulle testes. Et par simple og berettigede spørgsmål, der før de kan besvares kræver, at en række andre spørgsmål besvares først:

- Er *godkendelseskriteriet* valgt på grund af legale krav fra f.eks. ▶



Uafhængig, systematisk og sammenhængende rådgivning i forbindelse med praktisk måling og analyse er ofte en fordel.



| Determination of Volume of water at a nominal value of 30 kg weighed out at a water temperature of 80°C on 300 kg balance |                               |                                         |             |                        |                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| Størrelse                                                                                                                 | Værdi                         | Standard-usikkerhed                     | Fordeling   | Følsomheds-koefficient | Usikkerheds-bidrag                    |
| xsv <sub>FT</sub>                                                                                                         | 0.24423 kg/kg                 | 5.20·10 <sup>-3</sup> kg/kg             |             |                        |                                       |
| f <sub>FT</sub>                                                                                                           | 1.0060759                     | 61.8·10 <sup>-6</sup>                   |             |                        |                                       |
| psv <sub>FT</sub>                                                                                                         | 24276 Pa                      | 233 Pa                                  |             |                        |                                       |
| ta <sub>FT</sub>                                                                                                          | 64.308 °C                     | 0.213 °C                                |             |                        |                                       |
| d <sub>read</sub>                                                                                                         | 0.0 kg                        | 57.7·10 <sup>-6</sup> kg                | rektangulær | 1.0·10 <sup>-3</sup>   | 59·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>    |
| d <sub>repeat</sub>                                                                                                       | 0.0 kg                        | 57.7·10 <sup>-6</sup> kg                | rektangulær | 1.0·10 <sup>-3</sup>   | 59·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>    |
| d <sub>linAp</sub>                                                                                                        | 0.0 kg                        | 115·10 <sup>-6</sup> kg                 | rektangulær | 1.0·10 <sup>-3</sup>   | 120·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>   |
| d <sub>ta</sub>                                                                                                           | 3.89 K                        |                                         |             |                        |                                       |
| d <sub>cTsAp</sub>                                                                                                        | 0.0 kg/K                      | 92.4·10 <sup>-6</sup> kg/K              | rektangulær | 4.0·10 <sup>-3</sup>   | 370·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>   |
| d <sub>stability</sub>                                                                                                    | 0.0 kg                        | 577·10 <sup>-6</sup> kg                 | rektangulær | 1.0·10 <sup>-3</sup>   | 590·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>   |
| Da <sub>dry</sub>                                                                                                         | 1.20000 kg/m <sup>3</sup>     | 5.77·10 <sup>-3</sup> kg/m <sup>3</sup> | rektangulær | 410·10 <sup>-9</sup>   | 2.4·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>   |
| x <sub>FT</sub>                                                                                                           | 0.1752 kg/kg                  | 0.0152 kg/kg                            |             |                        |                                       |
| x <sub>ET</sub>                                                                                                           | 0.2366 kg/kg                  | 0.0246 kg/kg                            |             |                        |                                       |
| x <sub>R</sub>                                                                                                            | 1.0000·10 <sup>-3</sup> kg/kg | 57.7·10 <sup>-6</sup> kg/kg             | rektangulær | -9.5·10 <sup>-6</sup>  | -550·10 <sup>-12</sup> m <sup>3</sup> |
| xv <sub>FT</sub>                                                                                                          | 0.2198 kg/kg                  | 0.0149 kg/kg                            |             |                        |                                       |
| xv <sub>ET</sub>                                                                                                          | 0.2756 kg/kg                  | 0.0208 kg/kg                            |             |                        |                                       |
| h <sub>ET</sub>                                                                                                           | 0.8000 %                      | 0.0577 %                                | rektangulær | -7.8·10 <sup>-6</sup>  | -450·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>  |
| xsv <sub>TaET</sub>                                                                                                       | 0.34451 kg/kg                 | 7.51·10 <sup>-3</sup> kg/kg             |             |                        |                                       |
| h <sub>FT</sub>                                                                                                           | 0.9000 %                      | 0.0577 %                                | rektangulær | 7.1·10 <sup>-6</sup>   | 410·10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup>   |
| xsv <sub>TaFT</sub>                                                                                                       | 0.24423 kg/kg                 | 5.20·10 <sup>-3</sup> kg/kg             |             |                        |                                       |
| f <sub>TaET</sub>                                                                                                         | 1.0066755                     | 63.2·10 <sup>-6</sup>                   |             |                        |                                       |
| f <sub>TaFT</sub>                                                                                                         | 1.0060759                     | 61.8·10 <sup>-6</sup>                   |             |                        |                                       |
| V <sub>w</sub>                                                                                                            | 0.03089871 m <sup>3</sup>     | 5.86·10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>    |             |                        |                                       |

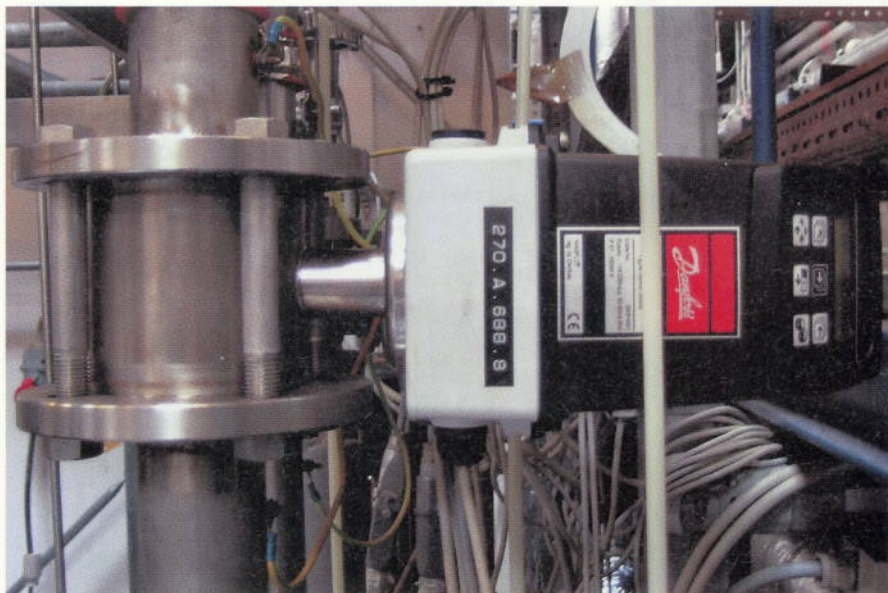
**Resultat:** Størrelse: V<sub>w</sub>  
 Værdi: 0.030899 m<sup>3</sup>  
 Relativ ekspanderet usikkerhed: ±0.038 %  
 Dækningsfaktor: 2.00  
 Dækningssandsynlighed: 95% (t-tabel 95.45%)

|                  |                           |               |
|------------------|---------------------------|---------------|
| Dato: 05/13/2005 | Fil: 30 kg vejning flow 1 | Side 12 af 12 |
|------------------|---------------------------|---------------|

Genereret af GUM Workbench, version 1.3.6.142

Måleusikkerhedsbudgettet giver overblik over usikkerhedskomponenterne.





Hvor måles? Er målepunktet repræsentativt? Er alle instrumenter og kabler korrekt jordet?

sundhedsmyndighederne, eller er det baseret på en kvalitetsmålsætning, f.eks. en erfaringsværdi? Hvis der er tale om en erfaringsværdi, er denne så dokumenteret tilstrækkeligt f.eks. baseret på statistisk behandling af faktiske målinger?

- Er der styr på *sporbarheden*? Kan måleresultatet - gennem en ubrudt kæde af kalibreringer - føres tilbage til en primær normal hos et nationalt laboratorium og dermed enhedens definition (i dette tilfælde temperaturrenheden »Kelvin« eller »°C«)?
- Hvorledes er *kalibreringsintervallet* fastsat? Er der tale om en erfaringsværdi, og er gyldigheden dokumenteret f.eks. ved statistisk behandling af kalibreringsdata?
- Er *måleusikkerheden* tilstrækkeligt dokumenteret med et usikkerhedsbudget og er alle usikkerhedskomponenter inkluderet? Der tænkes her ikke blot på usikkerhedskomponenter vedrørende procesfølerens (sensorens) performance og specifikationer samt usikkerheden på den enhed, hvor temperaturen udlæses. Hele målekæden og de mulige fejl, der kan opstå, skal indtages. f.eks.:
- Hvor måles? Er målepunktet repræsentativt, og er der særlige installationstekniske forhold, der influerer på målingen? Er f.eks. indsætningsdybden af temperaturføleren tilstrækkelig, eller influeres den anvendte transmitter af ekstreme omgi-

velsestemperaturer eller elektrisk støj?

- Hvordan »transporteres« måledata? Analogt eller digitalt? Er datatransporten tilstrækkeligt valideret?
- Hvordan behandles og repræsenteres data efterfølgende? Typisk sker der en konvertering af et fysisk signal i f.eks. »Ohm« til temperatur (°C) og ofte ses, at større eller mindre fejl begås i den proces.

Når målekæden er blevet behørigt dokumenteret, ovenstående spørgsmål er besvaret og målingen i sidste ende er dokumenteret med et måleusikkerhedsbudget, kan fødevarerproducenten sammenholde den fremkomne usikkerhed med godkendelseskriteriet. Såfremt der er et rimeligt forhold imellem størrelsen af disse to parametre, stopper historien her; men hvis det viser sig, at måleusikkerheden er væsentlig i forhold til godkendelseskriteriet, kan

konsekvensen være, at processen og de måletekniske opstillinger skal revideres eller tilpasses, så de stillede krav imødekommes.

## CASE 2: Fornyelse - opbygning af ny produktionsenhed

Ved et kursus afholdt for nylig hos Teknologisk Institut blev et konkret problem fremlagt af et par af kursusedtagerne, der repræsenterede en dansk farmaceutisk produktionsvirksomhed.

En ny produktionsenhed var under opbygning, og forberedelserne til valideringen af anlægget var i gang. Under designet af de måletekniske opstillinger, der er en del af installationen, havde man indhentet rådgivning. Rådgivningen blev primært givet af forskellige leverandører af de sensorer, transmittere etc., som indgår i reguleringsløjerne. Leverandørerne

Hvis det måletekniske set-up analyseres gennem de seks vigtigste punkter på forhånd, kan mange tids- og omkostningsskrævende problemer undgås senere.

havde selvfølgelig begrænset sig til at vejlede ud fra hver deres eget sortiments specifikationer. Problemet for virksomheden var nu at overbevise sig om, at usikkerheden for hele loopet matchede kvalitetsmålsætningen.

Problemstillingen og løsningsmodellen er meget analog til CASE 1, selv om produktionsenheder og virksomhedstype er af vidt forskellig natur.

*Sporbarheden* af udstyret er som altid, når denne slags analyser udføres, et nøglepunkt. Virksomheden bør kontrollere, om de specifikationer de får angivet inkluderer ►

## Hvad koster blot én unødvendig dag med driftstop?

Reparationsomkostninger er høje - men tab af produktionstid kan være katastrofalt!

Undgå driftstop med effektiv oliefiltrering.



Kontakt os for en gratis olieanalyse



C.C.Jensen A/S • Løvholmen 13 • 5700 Svendborg  
Tlf. 63 21 20 14 • Fax: 62 22 46 15 • E-mail: filter@cjc.dk

www.cjc.dk



## Måleteknisk rådgivning

Teknologisk Instituts laboratorier foretager kalibreringer inden for et bredt måleteknisk område. Medarbejderne har en betydelig måleteknisk erfaring erhvervet gennem arbejdet med måling og kalibrering, udviklingsprojekter, undervisning mv.

Laboratorierne har endvidere viden om og erfaring med f.eks. mikroelektronik og IT i sammenhæng med måling, dataoverførsel, databehandling og usikkerhedsanalyse.

Laboratorierne er akkrediteret i henhold til ISO 17025, hvor kendskab til dokumentation og validering af metoder er et must. Laboratorierne er flere gange udpeget til nationale primær- og referencelaboratorier, hvilket garanterer det måletekniske niveau.

Laboratorierne rådgiver og assisterer i forbindelse med analyse og dokumentation af hele virksomhedens målekæde i tæt samarbejde med virksomhedens kontaktpersoner. Som led i den måletekniske rådgivning kan følges op med bl.a. kurser i måleteknik og usikkerhedsanalyse, hjælp til beregning af måleusikkerhed og med de nødvendige værktøjer implementeret ved hjælp af Excel eller GUM Workbench.

en kalibreringsusikkerhed, samt om kalibreringen er udført efter metoder, der ligger tæt på brugsmetoden. Det udstyr og de elektriske forbindelser, der er mellem sensor/transmitter og den enhed, hvor udlæsningen af målingen sker, (f.eks. en A/D converter) glemmes ofte. Er kablerne tilstrækkeligt skærmede, så effekten af elektrisk støj reduceres eller belaster lange kabler transmitteren? I tilfældet »temperaturmåling« kan f.eks. et termoelements kompensationskabel hurtigt blive det væsentligste bidrag til måleusikkerheden. Ligeledes skal man, som i CASE 1, inkludere viden om målepunktets repræsentativitet. Med basis i analysen, supporteret af egentlige målinger på komponenterne skitseres nu et *usikkerhedsbudget*, der i første omgang bruges til at vurdere eller sandsynliggøre, om komponenterne samlet opfylder de stillede krav.



Er indsætningsdybden af temperaturføleren tilstrækkelig, eller influeres den anvendte transmitter af ekstreme omgivelsetemperaturer eller elektrisk støj?

Sluttetesten, der skal vise om kvalitetsmålsætningen eller godkendelseskriteriet er opnået med installationen, afhænger i dette tilfælde af den endelige *systemkalibrering*, dvs. hvor hele målekæden eller »loopet« bliver kalibreret efter installationen er samlet.

Virksomheden har af praktiske årsager valgt at kalibrere deres temperatur-målekæder ved hjælp af såkaldte »tørblokkalibratoren«. Metoden er simpel: Termoføleren placeres i kalibratoren, der indstilles til den ønskede temperatur, og kalibratorens visning sammenlignes så med den aktuelle temperaturvisning via reguleringsanlægget. Problemet er imidlertid, at kalibreringsmetoden ikke er speciel sammenlignelig med den måde temperaturmålingen foregår i praksis. F.eks. er indsætningsdybden af føleren ikke den samme, og der begås en væsentlig fejl pga. temperaturgradienter over føleren i kalibreringssituationen. Et usikkerhedsbudget for målekæden kan nu laves ved at kombinere usikkerhedskomponenter fra den indledende analyse med kalibreringsusikkerheden.

Sammenholdes kalibreringsresultatet og dennes usikkerhed med godkendelseskriteriet, kan virksomheden nu afgøre om kvalitetsmålsætningen er mødt.

## Seks punkter i den generelle fremgangsmåde

Fælles for CASE 1 og CASE 2 og i øvrigt de fleste tilfælde, hvor hele

virksomhedens målekæde skal analyseres og dokumenteres evt. med henblik på forbedring, er, at følgende fremgangsmåde generelt kan anvendes:

- **Observation:** Fremskaffelse af viden om en måleinstallation ved besigtigelse/inspektion.
- **Måling:** Fremskaffelse af viden om en måleinstallation ved konkrete målinger.
- **Analyse:** Baseret på de indhentede informationer, udførte observationer og målinger foretages en analyse af måleinstallationen.
- **Evaluering:** Med baggrund i analysen vurderes de forskellige alternativer/forbedringer med henblik på at fastlægge den optimale løsning.
- **Korrektion:** Den optimale løsning implementeres.
- **Validering og dokumentation:** Erfaringen viser, at hvis det måletekniske set-up på denne måde analyseres på forhånd, kan mange tids- og omkostningskrævende problemer undgås senere.

## Mini CV

Forfatteren har været ansat hos Teknologisk Institut i Århus, Center for Installation og Kalibrering i perioden 1995-1999 og 2005-. I den mellemliggende periode har Jan Nielsen været beskæftiget som videnskabelig medarbejder hos NMI-VSL i Holland. Oprindelig uddannet fysiker fra Århus Universitet i 1992.