SPORBARE KALIBRERINGER.

AF JØRGEN G. BLOM
DANTEST, MASSE- & KRAFTMÅLING

Dantest
Center for Prøvning, Måleteknik, Kontrol og Kvalitetssikring

0. Abstract

One of the pillars of a modern, industrial user society is constituted by accurate and precise measurings. Daily a countless number of measurings are carried out in many laboratories.

The demand for accuracy of the measurements is dependent on the competitive policy and the quality standards which a laboratory has laid down for the products that are produced or consumed.

It is an absolute prerequisite for accurate measurements to have traceable calibrations.

The purpose of this survey is to give you an insight into the concept of traceable calibration of material testing machines. A concept which now and in future will be of the greatest importance to trade, industry and research.

In future, traceable calibration of material testing machine will appear as a condition that measuring laboratories can present measuring results that are comparable with those of the outside world, and therefore traceable calibration will be a cornerstone in quality guarantee of measuring technique.

Traceable calibration is a extremely valuable tool which should be treated with much care to avoid that you become an isolated island within the field of measuring technique.

SPORBARE KALIBRERINGER.

AF JØRGEN G. BLOM
DANTEST, MASSE- & KRAFTMÅLING

1. Indledning

En af grundpillerne i et moderne industri / informationssamfund er korrekte og nøjagtige målinger. Måleaktiviteten er en forudsætning for eksport af en stor procentdel af landets bruttonationalprodukt.

Kravet til målingernes nøjagtighed er afhængig af det teknologiske stade og det kvalitetsniveau, som et land har lagt for de produkter som produceres og forbruges, men også i et vist omfang af den konkurrencepolitik, som dets samhandelspartnere anvender.

Måleteknikken kan blive en kommende teknisk handelshindring.

En absolut forudsætning for nøjagtige målinger er *sporbare*

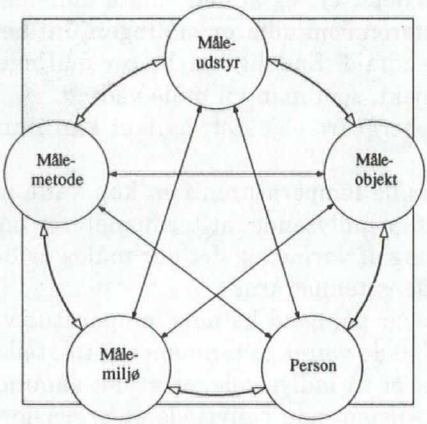

Fig. 1. Faktorer som påvirker et måleresultat.

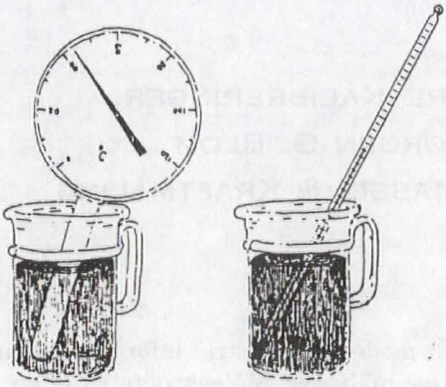

Fig. 2. Måleudstyr og metode påvirker resultatet.

kalibreringer.

2. Sporbarhed - en del af den måletekniske kvalitetssikring.

Alle målinger som udføres, påvirkes af en række faktorer som ses på figur 1. Det er en kendt sag, at resultatet af en måling beror på det anvendte måleudstyr og af den valgte målemetode. Men målemiljø og operatøren som udfører målingen, influerer også på måleresultatets udfald. Endelig indebærer målingen ofte, at man forstyrrer det objekt, som man vil måle ved, at måleudstyret *bortleder energi* fra objektet, hvilket kan illustreres ved følgende eksempel.

Antag, at man skal måle temperaturen i en kop kaffe med et termometer, figur 2. Det er indlysende, at termometeret påvirker kaffen gennem bortledning af varme, og det der måles er derfor en tilnærmet værdi for kaffens temperatur.

Man får netop ikke svar på, hvad kaffens temperatur ville være, såfremt der ikke havde været et termometer til stede.

Hvad der måske ikke er så indlysende, er at det samme problem ville eksistere, selvom man benyttede et præcisions-termometer med et NIST certifikat.

Bemærk derfor, at det rigtige spørgsmål er ikke: "Hvilken temperatur viser termometeret?", men "Hvad ville kaffens temperatur være, hvis termometeret ikke var der og overførte energi og derved ændrede kaffens temperatur?".

Som det fremgår af figur 1, er der en lang række faktorer, som må tages i betragtning, hvis man ønsker høj kvalitet i sine målinger. Måleudstyr af høj kvalitet kan være nyttesløst i et dårligt miljø, anvendt ved uhensigtsmæssig målemetode etc.

Alle disse faktorers sammenhæng kan ikke beskrives ved en simpel matematisk model, men skal til stadighed holdes under kvantitativ kontrol ved sporbar kalibrering. Alt målearbejde står og falder med sporbart kalibreret udstyr.

3. Sporbarhed - definition.

Den kendsgerning, at et instrument eller en transducer kan spore sin kalibrering eller certifikatsstamtræ til en normal med accepteret eller foreskreven nøjagtighed, betegnes som udstyrets sporbarhed.†

Sporbarhed indebærer, at man lægger en basis for, at målinger er sammenlignelige uanset, at målingerne udføres af forskellige laboratorier, af forskellige operatører og på forskelligt udstyr.

Der er virksomheder, som kræver af sine leverandører, at disse skal anvende måleudstyr, som er kalibreret sporbart til virksomhedernes egne normaler. På den måde sikrer virksomheden sig, at leverandørens leverede dele passer til virksomhedens produkter. Leverandøren opfylder således definitionen om sporbarhed og kan stolt sætte "sporbar" på sit produktblad. Desværre findes der en risiko forbundet hermed, for hvis virksomheden ikke holder sine normaler sporbart kalibreret til en national normal, så danner leverandør/virksomhed en måleteknisk isoleret ø, som ikke leverer måleresultater sammenlignelige med omverdenens.

En noget mere almindelig situation, er den, at en kunde stoler på, at sporbarheden til en udstyrsleverandør, er i orden.

Hvis kunden vover at drage dette i tvivl, får han ofte et svar af

†) DS 2344 [1] definerer ordet sporbarhed som "Dokumentation for, at et måleresultat er knyttet til passende normaler, normalt internationale og nationale normaler, gennem en ubrudt kæde af sammenligninger.

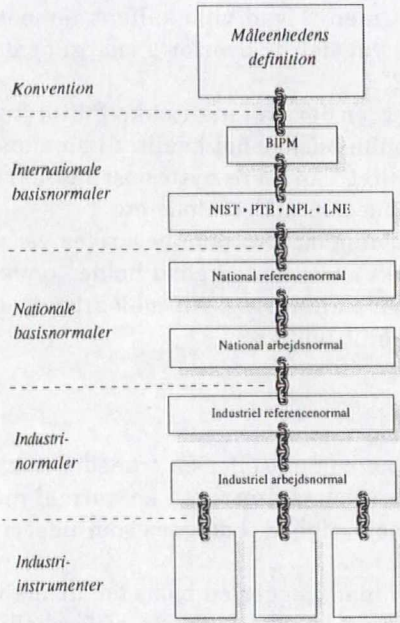

Fig. 3. Sporbarhedskæden

typen, "en leverandør af et så godt udstyr, i følge specifikationerne, måler da korrekt". Dette kan måske være rigtigt, men kunden løber den risiko, at sporbarhedskæden standser hos leverandøren, og kunden kan derfor kun sammenligne sine resultater med andre kunder til denne leverandør, men ikke med omverdenens.

Moralen af historierne er den, at det er først, når kalibreringerne direkte eller indirekte kan referere til et anerkendt og accepteret nationalt eller internationalt laboratorium, at basis for sammenligninger er i orden.

Et nationalt laboratorium, som ikke selv har en primær normal, d.v.s. en normal som udgør det første trin til definitionen af enheden (mindste unøjagtighed), og med *direkte* sporbarhed til denne, bør selv holde sine normaler sporbart kalibrerede til en-

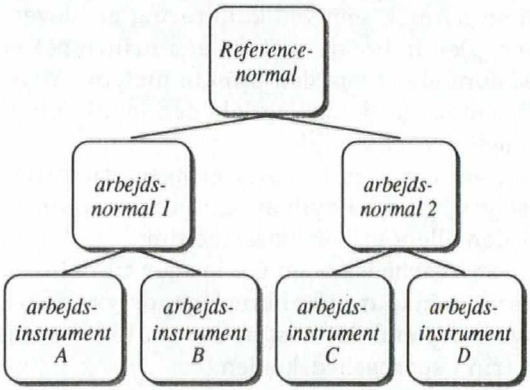

Fig. 4. Kalibreringshierarki

heden via f.eks. BIPM, NPL, PTB eller NIST.

Sporbarheden har intet som helst at gøre med måleudstyrenes præstation i en målesituation, men er et "levende" begreb.

Måleudstyrs egenskaber ændrer sig med tiden hvilket medfører, at nøjagtigheden bliver dårligere. Man siger, at udstyret mister sin sporbarhed. Forudsætningerne for sporbarheden må til stadighed prøves og dokumenteres.

De eksterne kalibreringer, som giver sporbarhed til en ønsket referencenormal, må gentages med passende valgte mellemrum, og i det interne arbejde må man sikre sporbarheden ved jævnlig kontrol af referencenormalerne. Sporbarheden vil ellers miste sit reelle indhold og være et tomt ord uden formel betydning.

4. Sporbarhed - etablering

Ved etablering af sporbarhed bygges en kæde af kalibreringer op således, at man øverst har enhedens definition og slutter mange led længere nede i hierarkiet med kalibrering af arbejdsinstrumenterne.

Det er meget almindeligt, at sporbarheden til definitionen

etableres *indirekte* f.eks. ved, at en virksomhed kalibrerer sine arbejdsnormaler mod en normal, som ved kalibrering er blevet sporbar til definitionen. Den indirekte metode er i princippet en ligeså god sporbarhedsformidler, som den direkte metode. Man må blot være opmærksom på, at de unøjagtigheder som hvert af kalibreringstrinene medfører, akkumuleres.

Det er for begge metoder vigtigt, at kalibreringscertifikatet angives med den unøjagtighed med hvilken kalibreringen er udført, idet sporbarheden ellers er helt uden mening.

Figur 3 illustrerer sporbarhedskæden fra bruger til definition.

Det er god kalibreringsskik, at et kalibreringsudstyrs unøjagtighed er 5-10 gange bedre end det udstyr, der skal kalibreres. Dette gælder for alle trin i sporbarhedskæden.

5. Kalibrering

For til stadighed, at kunne have sikkerhed (sporbarhed) for sine måleresultater er det nødvendigt, at målelaboratoriet har opbygget et kalibreringshierarki, som i princippet kan være opbygget som vist på figur 4.

I de fleste tilfælde må målelaboratoriet have en referencenormal, som udgør toppen i hierarkiet, og på hvilket det måletekniske grundlag hviler. Det er referencenormalen, som gennem eksterne kalibreringer danne målelaboratoriets forbindelsesled til omverdenen. Referencenormalen skal derfor behandles med største omhu, og kun benyttes når arbejdsnormalerne skal kalibreres, eller hvis den selv skal have genetableret sin sporbarhed ved en ekstern kalibrering på det næste højere niveau i kalibreringskæden. Den skal altså anvendes så lidt som overhovedet muligt, idet brug af normalen forøger muligheden for, at målelaboratoriets sporbarhed går tabt.

Næste trin i kalibreringshierarkiet er arbejdsnormalerne. Disse har en større unøjagtighed end referencenormalen. De får deres sporbarhed etableret gennem regelmæssig kalibrering mod referencenormalen. Af praktiske eller måletekniske årsager kan en virksomhed godt have flere arbejdsnormaler. Virksomheden kan f.eks. have delområder, som dækkes af hver sin arbejdsnormal.

Kalibreringshierarkiets nederste trin udgør alle virksomheders arbejdsinstrumenter, som gøres sporbare gennem kalibreringer mod målelaboratoriets arbejdsnormaler.

Mange målelaboratoriers kalibreringshierarki omfatter kun to trin, en referencenormal og arbejdsinstrumenterne.

Under alle omstændigheder må målelaboratoriet fastslå hvilket hierarki, som skal eksistere, og gennem systematiske gentagne kalibreringer, kontroller og sammenligningsmålinger vedligeholde sporbarheden.

Hvert kalibreringshierarki må skræddersys til den enkelte virksomhed med de forudsætninger, som råder i hvert enkelt tilfælde.

Kalibrering defineres ofte som "at bestemme størrelsen af måleinstrumentets målefejl i forhold til sand værdi". Ved kalibrering af et måleinstrument sammenligner man kalibreringsresultatet med den "sande" værdi (referencenormal). Fra sammenligningen kan man beregne den korrektion, som skal lægges til måleinstrumentets visning for, at denne skal stemme overens med "sand" værdi.

Imidlertid findes den "sande" værdi kun som et begreb, men det er muligt gennem kalibrering at nærme sig dette.

Normalens fornemste opgave er at føre os en del nærmere til sandheden om måleinstrumentets fejlvisning. Hvor meget nærmere normalens "sande" værdi angives ved en tommelfingeregel, som siger, at man som nævnt bør vælge en normal med 5—10 gange mindre unøjagtighed end det måleinstrument, som skal kalibreres.

Herved ses klart betydningen af, at unøjagtighederne altid angives i forbindelse med bedømmelsen af kalibreringens kvalitet.

Det er kalibreringerne, som formidler sporbarheden til omverdenen, og det er altså et krav, at der igennem hele det interne kalibreringshierarki, helt ned til arbejdsinstrumenterne, sker systematiske kalibreringer, som tillige skal være tilfredsstillende dokumenterede. Uden systematik og dokumentation eksisterer begrebet kalibrering ikke.

Sporbarhed kan gå tabt, fordi normalernes materiale ældes, og fordi de slides ved brug. For at kunne fastlægge de optimale kalibreringsintervaller for normalerne, bør man følge kalibreringerne op med et stabilitetsdiagram, som så med tiden

kan danne grundlag for fastlæggelse af kalibreringsintervallerne[9].

6. Egenkontrol

Man kunne fristes til at tro, at sporbarheden var sikret, hvis man f.eks. en gang om året lod sine normaler kalibrere. Dette er imidlertid ikke tilfældet. Det kan jo hænde, at man mellem de eksterne kalibreringer ufrivilligt har behandlet normalen ublidt eller f.eks. overbelastet denne. Det ville være lidt naivt at tro, at den seneste eksterne kalibrering stadig var i orden.

Målelaboratoriet må derfor sikre sig mod denne tvivl ved at etablere en egenkontrol, som giver mulighed for, at kontrollere referencenormalens stabilitet imellem de eksterne kalibreringer.

Hvis målelaboratoriet ikke har mulighed for at detektere dette, vil alt kalibreringsarbejde, som siden udføres, i realiteten *ikke* være sporbart.

Egenkontrollen bør udføres i forbindelse med, at en normal sendes frem og tilbage til målelaboratoriet. Egenkontrollen bør udføres med en passende frekvens afhængig af normalens brug, hvorved muligheden for ubehagelige overraskelser formindskes. Hvis uheldet har været ude, får man hurtigt kendskab til dette, og man kan dermed begrænse skadevirkningerne fra værdiløse kalibreringer.

Hvis man nu synes, at alt dette lyder dyrt og besværligt, så bør man nok sætte indsatsen i relation til de økonomiske værdier, som er afhængig af korrekte målinger.

7. Dokumentation

Man kunne fristes til at tro, at et kalibreringscertifikat fra et nationalt kalibreringslaboratorium, er tilstrækkelig dokumentation for sporbarhed. Vi ved imidlertid, at dette ikke er nok, og at en *række vilkår* må være opfyldt, for at sporbarheden skal kunne eksistere såvel på papiret som i virkeligheden.

Der skal derfor fremføres følgende synspunkter om *dokumentation* i forbindelse med sporbarhed.

Første trin er kalibreringscertifikater. Disse udgør grundlaget for målelaboratoriets virksomhed, og de bør *mindst* indeholde føl-

gende oplysninger:

- entydig beskrivelse af kalibreringsobjektet
- beskrivelse af hvorledes kalibreringen udføres med henvisning til en fastlagt metode
- beskrivelse af kalibreringens miljø- og influens-faktorer
- anvendt måleudstyr
- laboratoriets egen sporbarhed
- kalibreringsresultatet og kalibreringens unøjagtighed
- dato for kalibreringens udførelse.

Andet trin som skal dokumenteres, er de kalibreringer, som målelaboratoriet selv udfører på sine arbejdsnormaler. Selvom disse kalibreringer udføres internt, er det lige så vigtigt at dokumentere disse kalibreringer på samme måde som de eksterne kalibreringer. De tjener samme formål, nemlig at formidle sporbarheden til brugeren.

Tredie trin som også skal dokumenteres, er de egenkontroller, som udføres imellem de eksterne kalibreringer, for til stadighed at sikre normalernes stabilitet. Her kan man dog stille lidt lavere krav på den formelle udformning.

Man kan sige, at den direkte sporbarhed med ovenstående er dokumenteret, men man må efter forfatterens mening stille yderligere krav til et målelaboratorium for, at sporbarheden kan siges at være på plads.

Det er mindst ligeså vigtigt, at dokumentere de metoder eller procedurer, som anvendes ved egne kalibreringer og kontroller.

Metode eller procedurebeskrivelserne skal være tilstrækkelig udførlige til, at man skal kunne gentage kalibreringen under identiske betingelser f.eks. et halvt år senere.

Metode eller procedurebeskrivelserne skal være så detaljerede, at kalibreringerne kan udføres med den krævede nøjagtighed, uafhængig af, hvilken af målelaboratoriets personale, som udfører operationerne. Metoderne skal naturligvis revideres periodisk.

Ved at dokumentere metoderne, bevarer målelaboratoriet bedre sin kompetence, såfremt der sker et personaleskift.

En sidste dokumentation ved etablering af sporbarheden, er en fortegnelse over det udstyr, som målelaboratoriet anvender ved

sine kalibreringer. Denne fortegnelse bør indeholde alle relevante data og identifikationer for udstyrene.

Afslutning

Med dette foredrag, har det været hensigten at give et indblik i begrebet *sporbar kalibrering*. Et begreb som nu og i fremtiden vil være af største betydning for handel og industri.

Sporbar kalibrering vil fremover fremstå som en betingelse for, at målelaboratorierne kan præsentere måleresultater, som er sammenlignelige med omverdenen og vil derfor være en hjørnesten i måleteknikkens kvalitetssikring.

Sporbar kalibrering er et yderst værdifuldt værktøj, som man må behandle med omhu, hvis man ikke vil ende som en måleteknisk isoleret ø.

Foredraget vil blive suppleret med praktiske eksempler på kvalitetssikring af materialeprøvemaskiner.