

ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

KALIBRERING OG KONTROL AF STØJMÅLEUDSTYR

Orientering nr. 12

Ole Carlsen/JJ/lr

1990-02-06

KORREKTE MÅLERESULTATER KRÆVER
SPORBAR KALIBRERING AF MÅLEUDSTYRET

- Begreber
- Standarder
- Retningslinier for instrumentkontrol
- Ny standard for akustiske kalibratorer
- Forbedring af målenøjagtigheden ved støjmålinger

1. Indledning

For at sikre pålidelige måleresultater ved måling af lyd, er det af afgørende betydning at måleudstyret er kalibreret og kontrolleret. For de fleste brugere af støjmåleudstyr er det en indarbejdet rutine at kalibrere udstyret før og efter målingerne med en akustisk kalibrator, f.eks. Brüel & Kjær type 4230. Denne kontrol af udstyret er en udmærket og helt nødvendig rutine, især når der f.eks. foretages båndoptagelser af støjen.

Da kalibreringen sædvanligvis kun foretages ved én frekvens og ét lydtrykniveau, er den dog langt fra tilstrækkelig til at afgøre om instrumenterne på alle punkter opfylder de foreskrevne specifikationer. Der er derfor behov for engang imellem at kontrollere instrumenterne mere udførligt end ved brugerkalibreringen.

For at resultaterne af den udførlige kontrol kan bevises at være korrekte, skal det udstyr, der bruges til kontrollen, være sporbart kalibreret. Herved kan det dokumenteres, at de afvigelser, der konstateres ved kontrollen, primært skyldes det udstyr, der kontrolleres og ikke "fejl" ved kalibreringsudstyret.

Hvor ofte denne mere omhyggelige kontrol skal udføres afhænger dels af instrumenttype og dels af brugen af instrumentet; hvor ofte bliver det brugt, og hvad bliver det udsat for. Jo længere der går mellem kontrollerne, desto større er risikoen for, at der opstår fejl på instrumentet. Ved et langt interval mellem kontrollerne vil der desuden være flere måleresultater, der kan være fejlbehæftede.

For de laboratorier, der er godkendt af Miljøstyrelsen til at udføre "Miljømålinger - ekstern støj", er det krævet at støjmåleudstyret kontrolleres regelmæssigt med sporbarhed.

I dette nummer af Orientering fra Referencelaboratoriet vil de gældende retningslinier for kontrol af støjmåleudstyr blive gennemgået. Retningslinierne er en uddybning og supplerings af kravene som fremgår af RL 37/87 "Godkendelsordning for "Miljømålinger - ekstern støj"".

Endvidere vil den nye IEC Standard 942 for akustiske kalibratorer blive omtalt, og endelig vil muligheder for at forbedre målenøjagtigheden i forbindelse med den rutinemæssige brugerkalibrering af støjmåleudstyret blive behandlet.

2. Begreber

Inden gennemgangen af retningslinierne for kalibrering og kontrol vil det være relevant at omtale de mest anvendte begreber.

Kalibrering

En kalibrering er en måling efter fastlagte procedurer, hvor en normals værdi eller et måleinstruments visning sammenlignes "kalibreres op mod" den "sande værdi". Repræsentationen af den "sande værdi" er normalt behæftet med en vis usikkerhed.

Brugerkalibrering

En simpel kalibrering hvor udstyrets visning justeres/kontrolleres ved et niveau/frekvens, f.eks. ved hjælp af en akustisk kalibrator.

Nominel værdi

Den værdi et instrumentet skal vise, hvis afvigelsen fra den sande værdi er nul.

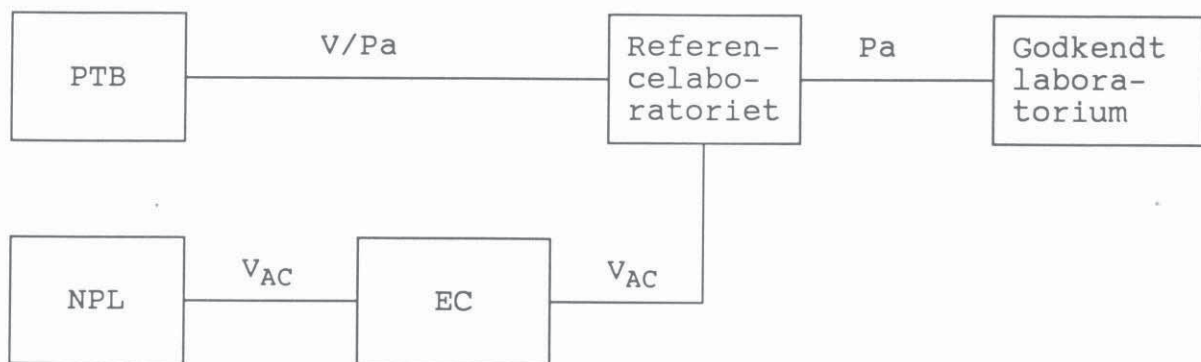
Justering

Hvor kalibrering i princippet er en "passiv" proces, hvor afvigelsen fra den "sande værdi" bestemmes, er justering en "aktiv" proces, hvorved instrumentets visning justeres, indtil der er bedst mulig overensstemmelse med den "sande værdi".

Sporbarhed

Ved sporbarhed forstås, at den nominelle værdi, der kalibreres op mod, kan henføres til et internationalt anerkendt laboratorium gennem en uafbrudt kæde af kalibreringer, en "sporbarhedskæde". Sporbarheden behøver altså ikke at være direkte. Lige så vigtig som selve sporbarheden er det at kende usikkerheden på kalibreringsværdien.

Det vil oftest være sådan, at usikkerheden stiger med en faktor 5 til 10 for hvert led i sporbarhedskæden. Som eksempel kan nævnes, at Referencelaboratoriet pt. har direkte sporbarhed til Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) i Vesttyskland for mikrofonfølsomhed (V/Pa) med usikkerhed på ca. 0,03 dB ved 250 Hz og 1 kHz. Referencelaboratoriet viderefører denne sporbarhed til kalibrering af akustiske kalibratorer og mikrofoner med en usikkerhed på 0,1-0,2 dB. For akustiske kalibratorer er det endvidere nødvendigt at have sporbarhed på måling af vekselspændingen (V_{AC}). Denne sporbarhed er etableret via Elektronik Centralen (EC) i Hørsholm til National Physics Laboratories (NPL) i England.



Figur 1 Sporbarhedskæde(r) for lydtryk

Tolerancer

I forbindelse med kalibrering og evt. justering bliver det normalt kontrolleret, om instrumentet overholder foreskrevne specifikationer (tolerancer). Det vil oftest være sådan, at det ikke er muligt at justere instrumentet til at vise rigtigt for alle kombinationer af parametre som frekvens, niveau, topfaktorer osv. Der er derfor fastlagt tolerancer for, hvor store afvigelserne fra den "sande værdi" må være. Tolerancerne kan enten være fastlagt i internationale standarder, som f.eks. IEC 651 for lydtrykmålere, eller de kan være opgivet af fabrikanten.

Kontrolmåling

Ordet kontrolmåling bruges af Referencelaboratoriet som en kort betegnelse for aktiviteterne: kalibrering, eventuel justering og kontrol af tolerancers overholdelse for en enkelt parameter.

Instrumentkontrol

Betegner tilsvarende den samlede proces, hvor det afgøres, om et instrument overholder alle de tolerancer, det er fundet relevant at kontrollere.

Kontrolprocedure

Er en skriftlig procedure, der angiver, hvorledes et instrument kalibreres og kontrolleres. Proceduren kan eventuelt være en del af den rapport, hvori resultaterne af kalibreringen og kontrollen angives. Kontrolproceduren vil som oftest være udarbejdet efter en standard (IEC, Nordtest), og i mangel heraf efter fabrikantens specifikationer sammenholdt med relevante normer og standarder.

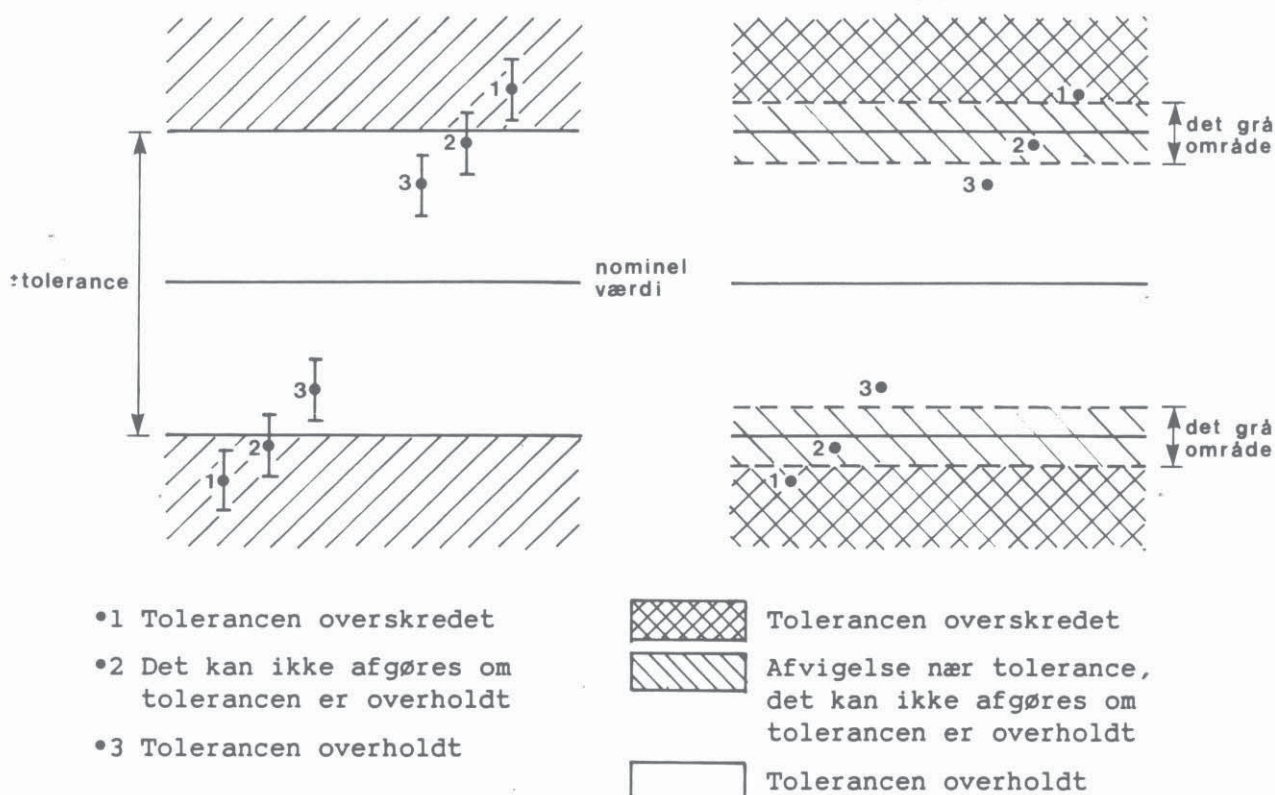
Usikkerhed

Når man udfører en kalibrering, er der altid knyttet en vis usikkerhed til kalibreringen, dels pga. usikkerhed på den "sande værdi", dels pga. usikkerhed f.eks. på aflæsningen af et viserinstrument under selve kalibreringen. Efter de nyeste standarder for kalibrering skal måleusikkerhed angives som en usikkerhedsgrænse, hvor der er 95% eller sandsynlighed for at måleresultatet ligger indenfor grænserne.

"Det grå område"

Usikkerheden har betydning, når det skal afgøres om instrumentets tolerancer er overholdt. Hvis afvigelsen på instrumentvisning er så tæt på tolerancen, at det er usikkerheden, der er afgørende for, om tolerancen er overholdt eller ikke, kan det ikke afgøres, om instrumentet overholder tolerancerne. Figur 2

illustrerer problemstillingen. Venstre del af figuren viser den normale måde at anskue måleusikkerheden på, som et usikkerhedsområde omkring måleværdien. Ved kontrol af om tolerancegrænserne overholdes i forbindelse med instrumentkontrol, er det fundet hensigtsmæssigt at illustrere problemstillingen, som vist i højre del af figuren, ved at angive et usikkerhedsområde omkring tolerancegrænserne.



Figur 2 Illustration af tolerancegrænse, måleusikkerhed og "det grå område".

Ud fra kendskab til spredningen på måleresultaterne kan grænserne, hvor der er 95% sikkerhed for at tolerancen enten er overholdt eller overskredet, beregnes. Området mellem de to grænser kaldes "det grå område".

Det tilstræbes ved kalibreringer at gøre dette "grå område" så lille som muligt. Normalt bør usikkerheden ved en kalibrering mindst være en faktor 5 til 10 mindre end instrumenttolerancen.

3. Standarder

Kravene til støjmåleudstyr er givet i følgende IEC Standarder:

- IEC 225 : 1/1, 1/2 and 1/3 Octave Filters
- IEC 651 : Sound Level Meters (tidligere IEC 179)
- IEC 804 : Integrating Overaging Sound Level Meters
- IEC 942 : Sound Calibrators

I Nordtest metode: Sound Level Meters: Verification Procedure NT ACOU 068, er der givet retningslinier for kontrolmålinger af akustiske kalibratorer, mikrofoner og lydtrykmålere i henhold til IEC 651, 804 og 942.

De nævnte standarder skal i det omfang, det er relevant, også anvendes ved kontrol af andet udstyr som niveauskrivere og båndoptagere. I Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984 "Måling af ekstern støj fra virksomheder" er det angivet, at andet måleudstyr skal opfylde relevante afsnit i IEC 651, type 1.

For båndoptagere kan der supplerende anvendes relevante internationale standarder for audiobåndoptagere og målebåndoptagere.

Hvor der ikke foreligger standarder, tilrettelægges kontrolproceduren efter fabrikantens anvisninger eller almindeligt anerkendte målemetoder, såfremt fabrikantens anvisninger er mangelfulde.

4. Hvilke instrumenter skal kontrolleres?

I bilag A til RL 37/87 "Tekniske krav til godkendte laboratorier" er det angivet, at laboratorierne skal råde over udstyr til:

- Akustisk kalibrering
- Måling af lydtrykniveau
- Måling af L_{Aeq}
- Niveauregistrering
- Båndoptagelse
- Smålbandsfrekvensanalyse

og ved støjmålinger i større afstande:

- Vindmåleudstyr til måling i 10 m højde

Såfremt laboratoriet udfører oktavanalyse i forbindelse med måling af kildestyrke, støjmålinger som bruges ved beregning af støjbelastningen for en virksomhed, skal laboratoriet desuden råde over et:

- 1/1 oktav filter, enten til seriel eller parallel analyse

Principielt skal alt udstyr, der anvendes til "Miljømålinger - ekstern støj", kalibreres og kontrolleres.

Der er dog nogle undtagelser fra de generelle regler:

- Niveauskrivere, der udelukkende anvendes til orienterende overvågning under målingerne, f.eks. til at gøre notater om hændelsesforløbet, behøver ikke være kontrolleret. Resultaterne fra skriveren kan i så fald ikke angives i rapporten. Det er et krav, at et godkendt laboratorium mindst råder over én niveauskriver, der er kontrolleret, idet laboratoriet, i det omfang, det er nødvendigt, skal kunne dokumentere måleresultaterne med skriverregistrering.
- Småbåndsfrekvensanalysatorer kontrolleres indtil videre ved afholdelse af sammenlignende støjmålinger.
- 1/1 oktav filtre, der udelukkende anvendes til orienterende målinger af støjens frekvenssammensætning, behøver ikke at være kontrolleret. Såfremt resultater af en orienterende frekvensanalyse angives i en rapport om "Miljømålinger - ekstern støj", skal det tydeligt angives, at resultater er orienterende.
- Alfa-numeriske printere behøver ikke at blive kontrolleret. Eventuelt kan de kontrolleres i forbindelse med kontrol af det analyseudstyr, de er tilsluttet.
- X-Y skrivere eller tilsvarende, der benyttes sammen med småbåndsfrekvensanalysatorer, kontrolleres i forbindelse med kontrollen ved de sammenlignende støjmålinger.
- For vindmåleudstyr kræves ikke en egentlig sporbar kalibrering. Som alternativ til sporbar kalibrering skal vindmåleren med 2 års mellemrum sammenlignes med mindst 2 andre vindmålere eller med en sporbart kalibreret vindmåler under vejrforhold, der er relevante for støjmålinger, dvs. vindhastigheder i området 3-6 m/s.

5. Hvor ofte skal instrumenterne kontrolleres?

Hyppigheden af kontrollen af et instrument afhænger af instrumentets konstruktion og virkemåde, af hvad det udsættes for ved brugen og hvor alvorlige følger, en fejl har på måleresultaterne.

For en akustisk kalibrator, der bruges ved alle målinger og som viderefører sporbarheden på lydtryk, vil afvigelser have alvorlige konsekvenser. Derfor er kontrolintervallet for kalibrаторer maksimalt 1 år. Nogle laboratorier vælger dog hyppigere kontrol, f.eks. hvert halve år, eller har flere kalibrаторer som jævnligt sammenlignes.

For det øvrige udstyr er det maksimale kontrolinterval 2 år.

Hvis hyppig anvendelse af et apparat medfører at der er stor sandsynlighed for at apparatet ikke overholder sine specifikation ved næste regelmæssige kontrol, bør intervallet mellem kontrol sættes således, at sandsynligheden for at tolerancerne er overskredet er lille.

Er der mistanke om, at instrumentet ikke er fuldstændig pålideligt, eller at det har været udsat for hårdhændet brug, skal det kontrolleres inden det bruges.

6. Hvilke formelle krav stilles til instrumentkontrol?

For at sikre korrekte og ensartede måleresultater fra laboratorierne, der udfører "Miljømålinger- ekstern støj", er det vigtigt, at kalibrering og kontrol udføres med sporbart kalibreret udstyr. Som minimum kræves sporbarhed på lydtryk (Pa) eller mikrofonsfølsomhed (Pa/Volt), AC og DC spænding og frekvens.

Kontrollen kan enten udføres af laboratoriet selv eller hos et laboratorium, der er autoriseret af Statens Tekniske Prøvenævn (STP) til at udføre kalibrering eller prøvning af pågældende instrumenttype.

For nyt udstyr godkendes et medfølgende kalibreringscertifikat, såfremt kontrolmålinger er udført sporbart og resultaterne er angivet i certifikatet. Dette certifikat er gyldigt i instrumentets garantiperiode, normalt 1 år.

Det kræves, at der foreligger en rapport over de udførte kontrolmålinger.

De anvendte måleprocedurer og måleopstillinger skal enten være angivet i rapporten eller foreligge som et selvstændigt dokument.

Såfremt der anvendes udstyr til kontrolmålinger, der ikke er kalibreret sporbart af et eksternt laboratorium, skal der foreligge tilsvarende rapporter og måleprocedurer, som anvendes ved kontrol af kontroludstyret, så sporbarheden herved videreføres dokumenteret.

Hvis der udføres justeringer af apparatet under kontrolmålingerne, skal resultater både før og efter justeringen angives i rapporten.

7. Omfanget af instrumentkontrollen

En kontrolprocedure skal være så tilpas omfattende, at der er rimelig sikkerhed for, at instrumentet opfylder sine specifikationer. Kontrolproceduren skal ikke være lige så omfattende som ved en typegodkendelse eller f.eks. slutkontrol på en ny instrumenttype.

Kontrollen bør omfatte alle de funktioner, som instrumentet kan udføre. Såfremt visse funktioner undtagelsesvis ikke kontrolleres, skal det angives specifikt i kontrolrapporten. Funktioner der ikke er kontrolleret må ikke bruges til "Miljømålinger - eksternt støj".

For lydtrykmålere, mikrofoner og akustiske kalibratorer er en kontrolprocedure af rimeligt omfang angivet i NT ACOU 068.

Endvidere er omfanget af kontrollen for disse og øvrige støjmåleinstrumenter angivet i RL 37/87 Bilag A, Appendix 3. Som hovedregel vil det være sådan, at jo mere kompliceret et instrument er, desto mere omfattende bør kontrollen være.

8. Afgørelse af, om instrumentet overholder tolerancerne

Kontrollen af, om instrumentet overholder de tolerancer, som er fastsat i de relevante standarder eller specifikationer, kan foretages af den instans, der foretager kalibreringen, eller det kan være overladt til brugeren af instrumentet. Oftest er det mest hensigtsmæssigt at kontrollen foretages af kalibreringsinstansen, dels fordi det er mere rationelt at foretage kontrollen i forbindelse med kalibreringen, dels fordi kalibreringslaboratoriet oftest har større erfaring på området.

Referencelaboratoriet har hidtil ved instrumentkontrol haft den praksis, at kalibreringsresultater i "det grå område" medførte, at instrumentet bestod prøverne. I forbindelse med revision af kontrolprocedure og kontrolrapporter vil der blive indført en ny praksis med et tredje afkrydsningsfelt for de tilfælde, hvor kalibreringsresultatet er i "det grå område", således at brugeren kan se, at resultatet er tæt på tolerancen.

I disse tilfælde, hvor det ikke kan bevises om tolerancen er overholdt, er det op til brugeren at afgøre om instrumentet fortsat bruges til målinger, eller om det skal repareres eller justeres. Til denne afgørelse kan instrumentets livshistorie være udslagsgivende. Hvis afvigelsen fra den sande værdi igennem en længere periode har ligget på tilnærmelsesvis samme værdi, er det sandsynligt, at den også fortsat vil være konsistent. Hvis afvigelsen derimod i løbet af en periode er blevet større og større, er det sandsynligt, at tolerancen ved næste kontrol er overskredet signifikant, hvorfor det vil være påkrævet allerede på nuværende tidspunkt at reparere instrumentet.

9. Ny standard for akustiske kalibratorer

I 1988 blev IEC publikation 942 "Sound Calibrators" vedtaget. Denne standard definerer 3 klasser af akustiske kalibratorer, benævnt klasse 0, 1 og 2.

Tolerancerne på kalibratorens nominelle lydtrykniveau og frekvens er givet i tabel 1 nedenfor.

Kalibrator klasse	0	1	2
Tolerance, lydtrykniveau [dB]	$\pm 0,15$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
Tolerance, frekvens [%]	± 1	± 2	± 4

Tabel 1 Tolerancer for akustiske kalibratorer i henhold til IEC 942

Den nominelle værdi skal referere til 20°C, 65% RH og 1013 mbar.

Tolerancerne skal være overholdt i områderne:

Temperatur : -10 til +50°C
 Luftfugtighed : 10% til 90% RH
 Statisk tryk : 650 til 1080 mbar

Tolerancen skal være opfyldt, når en af de tre parametre varierer, mens de to andre holdes fast på referenceværdien.

Såfremt kalibratoren ikke kan opfylde tolerancerne i hele området af miljøbetingelserne, skal fabrikanten angive dette og give anvisninger på hvordan de nominelle værdier korrigeres, således at tolerancerne mindst er opfyldt i området:

Temperatur : 5 til 35°C
 Luftfugtighed : 30% til 80% RH
 Statisk tryk : 850 til 1050 mbar

Såfremt kalibratoren ikke kan opfylde disse krav uden korrektion, skal kalibratoren mærkes med et L efter klassekategorien.

Såfremt et termometer eller barometer leveres med kalibratoren, skal nøjagtigheden af dette instrument være så god, at den samlede usikkerhed på det korrigerede lydtrykniveau ikke er større end tolerancekravene for pågældende kalibratorklasse.

Efter Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1989 "Måling af eksternt støj fra virksomheder" skal måleudstyret være af type 1 eller 1I. Der er endvidere angivet, at måleusikkerheden pga. måleudstyret i bedste fald er omkring 0,25-0,5 dB (standardafvigelse). For at opnå dette, bør kalibratoren derfor mindst opfylde klasse 1 kravene.

I Danmark anvendes hovedsagelig akustiske kalibratorer af fabrikatet Brüel & Kjær, typerne 4220 (pistonphon) og 4230.

For B&K 4220 er lydtrykket direkte proportionalt med det statiske tryk, og der skal anvendes et barometer ved kalibreringen. Nøjagtigheden af kalibratoren er derfor afhængig af barometrets nøjagtighed.

Hvis lydtrykniveauet for B&K 4220 er bestemt med en usikkerhed på $\pm 0,1$ dB, er der "tilovers" til usikkerhed på det statiske tryk for klasse 0, 1 og 2, henholdsvis $\pm 0,05$ dB, $\pm 0,2$ dB og $\pm 0,4$ dB. Omregnet til usikkerhed i mbar giver det henholdsvis ± 6 mbar, ± 25 mbar og ± 50 mbar.

For at kalibratoren B&K 4220 skal opfylde klasse 0 kravet, kræves derfor et præcisionsbarometer. Med et "almindeligt godt" barometer kan klasse 1 kravene opfyldes. Brüel & Kjær angiver, at klasse 1 kravene ikke kan opfyldes med det medleverede barometer, men at en ny version af B&K 4220, betegnet B&K 4228, hvor den primære forskel er et bedre barometer, opfylder klasse 1 kravene.

Det er Referencelaboratoriets erfaring at sålænge det statiske tryk er indenfor 980 til 1045 mbar, er afvigelserne for det

medleverede barometer til B&K 4220 sjældent større end ± 10 mbar, og at afvigelsen enkelte gange har været omkring ± 15 mbar. Heraf kan det konkluderes, at til opfyldelse af klasse 1 krav under danske vejrforhold er det almindelige barometer sandsynligvis tilstrækkelig godt, men formelt må det anbefales at anvende et bedre barometer.

For B&K 4230 angiver Brüel & Kjær tolerancerne til $\pm 0,3$ dB ved $20-26^{\circ}\text{C}$, 1013 mbar. I området $0-50^{\circ}\text{C}$ er tolerancen $\pm 0,5$ dB; samme tolerance gælder i trykområdet 650-1080 mbar. B&K 4230 kan derfor betegnes som en klasse 2 kalibrator. I det følgende afsnit vil mulighederne for at forbedre kalibreringsnøjagtigheden blive omtalt.

10. Forbedring af målenøjagtigheden ved støjmålinger

De fleste laboratorier her i landet, der foretager støjmålinger, anvender en kalibrator B&K 4230, der som omtalt i foregående afsnit har en tolerance på $\pm 0,5$ dB i temperaturområdet $0-50^{\circ}\text{C}$.

Ved Referencelaboratoriets kontrol af kalibratorerne er kriteriet for, at kalibratorerne består prøverne, at afvigelsen fra det nominelle lydtrykniveau ($94,0$ dB re $20 \mu\text{Pa}$) højest er $0,5$ dB ved 23°C . Tillægges denne afvigelse usikkerhed pga. kalibreringsusikkerhed, omgivelsernes temperatur og tryk, og langtidsstabilitet (som af Brüel & Kjær angives til $0,1$ dB pr. år), kan afvigelsen nå op på næsten 1 dB.

Der kan anvises to forskellige måder til at nedbringe denne utilfredsstillende store usikkerhed.

Den bedste løsning er at anskaffe en bedre kalibrator. Med en pistonphon B&K 4220 eller B&K 4228 kan der opnås en nøjagtighed svarende til klasse 0 eller 1 afhængigt af det anvendte barometers nøjagtighed, se afsnit 9.

Alternativt hertil kan kalibratoren B&K 4230 fortsat anvendes. Ved kalibreringen benyttes så det lydtrykniveau, som Reference-

laboratoriet bestemmer for kalibratoren istedet for den nominelle værdi på 94,0 dB re 20 μ Pa. Herved reduceres den samlede usikkerhed på kalibreringsniveauet til ca. $\pm 0,3$ dB, hvis fejlene regnes for ukorrelerede, dette svarer til tolerancekravene for kalibratorer klasse 1 i henhold til IEC 942.

I forbindelse med en revision af Referencelaboratoriets kalibreringsprocedurer, vil kalibreringsværdien (dvs. det ved kalibreringen målte lydtrykniveau af kalibratoren) fremover blive anført på den mærkat som sættes på kalibratoren.

For kalibratorer, hvor den målte afvigelse er mellem 0,2 og 0,4 dB, vil det blive angivet, at afvigelsen er nær tolerancen. For disse kalibratorer vil det være særligt vigtigt, at kalibreringsværdien anvendes i stedet for den nominelle værdi. Fabrikantens anvisninger med hensyn til korrektioner for forskellige mikrofontyper skal stadig følges.