

# ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

## Usikkerhed på beregnede niveauer af ekstern støj fra virksomheder

Orientering nr. 36

Jørgen Kragh/BP/CB/THP/JEL/CVO/lm/ilk

30. november 2005

Rev. 22. juli 2008 (Bilag 1-Eks.1)

Rev. 8. juli 2021 (Bilag 1-Eks.2)

- Flere uafhængige støjkilder giver mindre usikkerhed
- Usikkerheden fra beregningen behandles på en ny måde
- Der er en nedre grænse for usikkerheden

### Indhold

1. Baggrund og formål .....	2
2. Begreber .....	2
3. Fastlæggelse af usikkerheden.....	6
4. Bidrag til usikkerheden .....	7
4.1 Bidrag fra kilden .....	7
4.2 Bidrag fra beregningen .....	9
5. Sammenfatning .....	10
6. Referencer .....	11
Bilag 1 – Eksempler .....	12
Eksempel 1: To stationære støjkilder .....	12
Eksempel 2: Som i Eksempel 1, men med yderligere 12 stationære kilder .....	12
Eksempel 3: Som i Eksempel 2, men med yderligere 2 bevægelige støjkilder.....	13
Bilag 2 – Kommentarer .....	14
Usikkerhed på driftstid mv.....	14
Bidrag fra udstrakte støjkilder og fra kilder i bevægelse .....	14
Usikkerhed fra beregningen .....	14

## 1. Baggrund og formål

Usikkerheden på et beregnet niveau af ekstern støj fra en virksomhed kan være afgørende for, om det er dokumenteret, at en støjgrænse er overskredet eller ikke. Derfor er det vigtigt, at forskellige laboratorier fastlægger usikkerheden på samme måde.

Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5/1993, jf. [1], indeholder vejledende angivelser af usikkerheden, baseret på erfaringsmateriale, der var til rådighed ved udarbejdelsen af vejledningen, og i Orientering nr. 24 fra Referencelaboratoriet, jf. [2], blev fastlæggelse af usikkerheden beskrevet.

Målet med nærværende orientering er at angive, hvordan man ved ”Miljømåling – ekstern støj” fastlægger usikkerheden på beregnede niveauer af ekstern støj fra virksomheder på en enkel og entydig (administrativt sikker) måde. Fremgangsmåden supplerer anvisningerne i [1] og erstatter retningslinjerne i [2].

Der har været overvejet forskellige muligheder for håndteringen af usikkerheden på den beregnede dæmpning af støjen under udbredelsen, og der er valgt en anden fremgangsmåde end i Orientering nr. 24, jf. [2]. Dette er kommenteret i Bilag 2.

## 2. Begreber

### Sand værdi af et målt støjniveau

Den sande værdi af det målte niveau af støjen fra en virksomhed er den værdi, man ville opnå som middelværdi af uendeligt mange uafhængige målinger gennemført efter forskrifterne i [3].

Note 1: Den sande værdi af det målte niveau er ukendt og må estimeres ved omfattende målinger.

### Sand værdi af et beregnet støjniveau

Den sande værdi af det beregnede niveau af støjen fra en virksomhed er resultatet opnået ved korrekt brug af beregningsmetoden i henhold til [1], med samtlige inddata fastlagt sikkert og nøjagtigt.

Note 2: Inddata omfatter den sande værdi af kildestyrken og nøjagtige og tilstrækkeligt detaljerede data om støjens udbredelsesvej.

Note 3: Den sande værdi af det beregnede niveau er ukendt. Den kan estimeres ved middelværdien af mange uafhængige beregninger udført af forskellige personer med forskellig software, på grundlag af uafhængigt indsamlede, nøjagtige oplysninger om kildestyrker, afstande, højder samt egenskaber af bygninger, skærme, terræn mv.

## Modelfejl

Modelfejlen er forskellen mellem den sande værdi af det målte støjniveau og den sande værdi af det beregnede støjniveau.

Note 4: Modelfejlen forudsættes minimeret ved udviklingen af beregningsmetoden.  
Den afhænger af beregningssituationen, og den indgår ikke i usikkerheden på et beregnet støjniveau fastsat efter anvisningerne i nærværende orientering.

## Usikkerhed

Usikkerhed betyder som alment begreb tvivl om gyldigheden af resultatet af en måling eller beregning, jf. [4]. Standardusikkerhed og udvidet usikkerhed er kvantitative angivelser, jf. det følgende.

## Ubestemthed

Ubestemthed betyder som alment begreb det samme som usikkerhed. I en del vejledninger fra Miljøstyrelsen og orienteringer fra Referencelaboratoriet bruges ordet ”ubestemtheden” som en kvantitativ størrelse, et 90 % konfidensinterval. I nærværende orientering bruges i stedet udtrykket ”den udvidede usikkerhed”, og denne betegnelse bør anvendes i stedet for betegnelsen ”ubestemthed”. Der er alene tale om en ændring i sprogbrug, som gradvist har fundet sted, ikke om en teknisk ændring.

## Usikkerhed fra kilden

Usikkerheden fra kilden er den del af forskellen mellem resultatet og den sande værdi, der skyldes uforudsigelige variationer i faktorer af betydning for kilden, herunder almindelig måleusikkerhed.

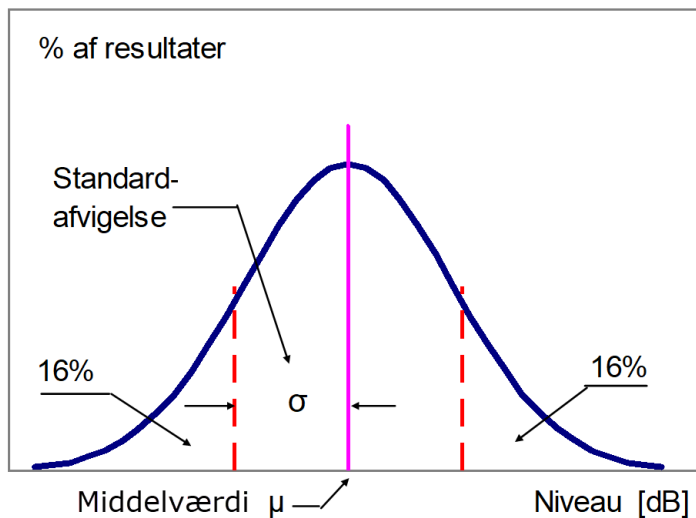
## Usikkerhed fra beregningen

Usikkerheden fra beregningen er den del af forskellen mellem resultatet og den sande værdi, der skyldes uforudsigelige variationer i faktorer af betydning for beregningen, fx data fra opmålinger, kortmateriale, beregningsindstillinger i software m.m.

## Standardusikkerhed

Standardusikkerheden  $\sigma^1$  er usikkerheden på beregningsresultatet (hhv. den målte middelværdi) udtrykt som standardafvigelse. Figur 1 viser en normal sandsynlighedsfordeling.

<sup>1)</sup> Det græske bogstav ”lille sigma”.



**Figur 1** – Normal sandsynlighedsfordeling med middelværdi  $\mu$  og standardafvigelse  $\sigma$ .  
Det er mest sandsynligt, at den sande værdi er lig med middelværdien, men den kan være inden for et interval omkring middelværdien. Jo længere man er fra middelværdien, jo mindre sandsynligt er det, at det er den sande værdi.

Kurven i Figur 1 viser sandsynligheden (i % på Y-aksen) for, at støjniveauet har den værdi, der er angivet på X-aksen. Fordelingen karakteriseres ved sin middelværdi  $\mu$  (estimeret af den sande værdi) og sin standardafvigelse  $\sigma$ .

Note 5: Standardafvigelsen kaldes undertiden for spredningen.

Note 6: 68 % af sandsynlighedsmassen (arealet mellem fordelingskurven og dB-aksen) befinder sig i intervallet  $\pm\sigma$  omkring  $\mu$ , mens 16 % befinder sig på hver side af dette interval.

Standardusikkerheden  $\sigma$  kan estimeres ved stikprøvestandardafvigelsen defineret i udtrykket (1).

$$\sigma_{\text{estim}} = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n L_{p,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^n L_{p,i} \right)^2}{n \cdot (n-1)}} \quad [dB] \quad (1)$$

hvor

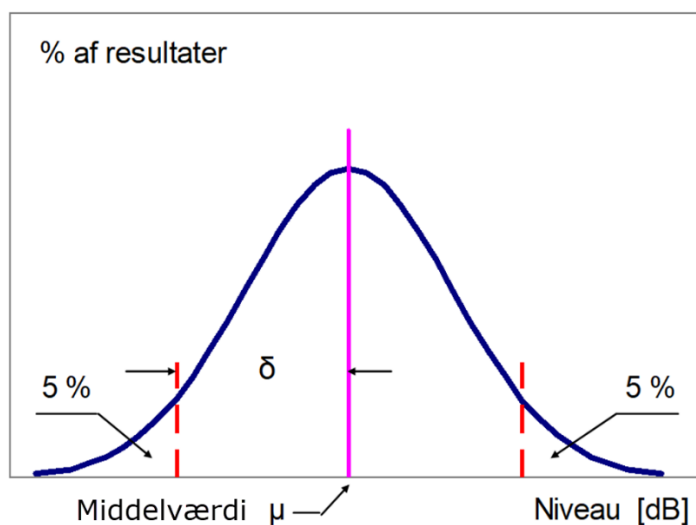
$L_{p,i}$  = resultat nr.  $i$ , [dB]

$n$  = antallet af resultater, [-]

## Udvidet usikkerhed

Den udvidede usikkerhed  $\delta^2$  er ved ”Miljømåling – ekstern støj” et interval (konfidensinterval), hvori den sande værdi med 90 % sandsynlighed befinder sig, se Figur 2. Den udvidede usikkerhed bestemmes ved en normalfordeling ved at gange standardusikkerheden med dækningsfaktoren 1,65, og den har hidtil været kaldt ”ubestemtheden”.

Note 7: I andre sammenhænge anvendes undertiden en dækningsfaktor på 1,96 svarende til et konfidensinterval på 95 %.



**Figur 2** – Normal sandsynlighedsfordeling. 90 % konfidensintervallet er  $\pm\delta \cong \pm 1,65 \cdot \sigma$ . Uden for dette interval ligger der 5 % af sandsynlighedsmassen på hver side.

## Uafhængige kilder

Støjkilder anses for indbyrdes uafhængige, når deres kildestyrke er bestemt ved forskellige målinger.

Note 8: Er de beregnede støjbidrag derimod baseret på en fælles måling af den samlede styrke af flere kilder, er kilderne indbyrdes afhængige. Kilder, hvis styrke stammer fra det samme opslag i et katalog, anses for indbyrdes afhængige. Det gælder fx delkilderne på en lastbilkørselsrute.

<sup>2)</sup> Det græske bogstav ”lille delta”.

### Overskridelse

En støjgrænse anses af Miljøstyrelsen for at være signifikant overskredet, når beregningsresultatet minus den udvidede usikkerhed er større end støjgrænsen<sup>3)</sup>. Sandsynligheden for, at støjgrænsen er overskredet, er da 95 % eller derover. Se også Orientering nr. 29 [5].

### 3. Fastlæggelse af usikkerheden

Den resulterende udvidede usikkerhed  $\delta_{res}$  (tidligere kaldt "ubestemtheden") på et beregnet støjniveau fastlægges som

$$\delta_{res} = 1,65 \cdot \sigma_{res} \quad (2)$$

hvor

$\sigma_{res}$  er den resulterende standardusikkerhed fastlagt efter udtrykket (3), [dB], og 1,65 er dækningsfaktoren for 90% af sandsynlighedsmassen under kurven i Figur 2.

Den resulterende standardusikkerhed består af bidrag fra kilden og fra beregningen:

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_{kil}^2 + \sigma_{ber}^2} \quad (3)$$

hvor

$\sigma_{kil}$  = bidraget fra kilden, [dB]

$\sigma_{ber}$  = bidraget fra beregningen, [dB]

$\sigma_{kil}$  bliver lille, når tilfældige fejl fra mange forskellige, uafhængige kilder statistisk ophæver hinanden. I så fald bestemmes den resulterende standardusikkerhed hovedsageligt af bidraget  $\sigma_{ber}$  fra beregningen.

I Afsnit 4.1 er det angivet, hvordan  $\sigma_{kil}$  fastlægges. Er der mere end én støjkilde, beregnes den kombinerede usikkerhed fra alle enkeltkilderne, se Afsnit 4.1.2.

I Afsnit 4.2 er bidraget  $\sigma_{ber}$  angivet.

<sup>3)</sup> Gælder ikke lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i det eksterne miljø, hvor usikkerheden ikke indgår i bedømmelsen af, om en grænseværdi er overskredet, jf. afsnit 2.3 i [5].

## 4. Bidrag til usikkerheden

### 4.1 Bidrag fra kilden

#### 4.1.1 Bidrag fra en enkelt kilde

Bidraget fra en enkelt kilde (nr.  $i$ ) til usikkerheden på resultatet fastlægges ved hjælp af Tabel 1.

Et lavt niveau af baggrundsstøj og gode akustiske omgivelser (for eksempel fravær af refleksioner) kombineret med målinger ikke for tæt på kilden giver en lille usikkerhed fra kilden, mens mindre gunstige forhold giver større usikkerhed.

Omstændigheder		Gode	Mindre gode <sup>*)</sup>
Målemetode	Kugle Kasse Ekstrapolation	2	3
	Støjkilder i bevægelse	3	3

<sup>\*)</sup> Ikke alle målepositioner tilgængelige, nærfeltsfejl  $\geq 1$  dB eller omgivelseskorrektion anvendt.

**Tabel 1** – Bidrag angivet som standardusikkerhed  $\sigma_i$  [dB] fra en enkelt kilde (nr.  $i$ ), til usikkerheden på beregningsresultatet, når styrken af den aktuelle kilde er målt.

Note 9: Det har været praksis at sætte den udvidede usikkerhed på beregningresultatet til 3 dB, svarende til en standardusikkerhed på 1,8 dB, når kildestyrken var målt efter kuglemetoden eller ekstrapolationsmetoden. Den udvidede usikkerhed har tilsvarende været sat til 5 dB, svarende til en standardusikkerhed på 3,0 dB, når kildestyrken var målt efter kassemetoden eller efter metoden for bevægelige støjkilder.

Ved gentagne målinger efter kugle- og kassemetoden af styrken af bredbånds-støjkilder med samme driftsbetingelser, men anbragt på forskellige steder, er det imidlertid fundet, at standardusikkerheden på det totale A-vægtede niveau er mindre end 2 dB, jf. [7].

Note 10: Indeholder støjen tydelige toner eller impulser, bliver resultatet (støjbelastningen) 5 dB større, og en vurdering af usikkerheden må foretages i det konkrete tilfælde og evt. indlægges som en 5 dB margin.

Tallene i Tabel 1 bruges, når kildens styrke er baseret på resultatet af en enkelt måling.

Hvis der undtagelsesvis foreligger resultater af  $n$  uafhængige målinger af den samme kildestyrke, og middelværdien af de målte kildestyrker er anvendt i beregningen, erstattes standardusikkerheden i Tabel 1 af standardusikkerheden  $\sigma_{\text{middel}}$  beregnet ved hjælp af udtrykket (4). Et eksempel på brugen af (4) er vist i Bilag 1, Eksempel 2.

$$\sigma_{\text{middel}} = \begin{cases} \sigma_i \text{ fra Tabel 1, når } n=1 \\ \frac{\sigma_i}{\sqrt{2}}, \sigma_i \text{ fra Tabel 1, når } n=2 \\ \sigma_{\text{estim}}, \text{ når } n > 2 \end{cases} \quad (4)$$

hvor

$\sigma_{\text{estim}}$  = standardusikkerheden på de målte kildestyrker bestemt efter udtrykket (1).

Hvis man i stedet for selv at måle kildestyrken anvender katalogdata i beregningen, afhænger bidraget til usikkerheden af kvaliteten af data i kataloget, og af hvor godt den aktuelle støjkilde svarer til de kilder, katalogets data er baseret på. Ved "Miljømåling – ekstern støj" anvendes de standardusikkerheder, som er angivet i Tabel 2, når der benyttes katalogdata om kildestyrker.

Veldefinerede, baseret på et stort materiale <sup>4)</sup>	3
Ikke nøjagtigt defineret, baseret på et stort materiale eller Baseret på måling ved ét andet tilsvarende individ	5
Baseret på standarddata om lydisolations og retningsvirkning af bygningsdele og åbninger <sup>5)</sup>	5

**Tabel 2** – Bidraget, angivet som standardusikkerhed  $\sigma_i$  [dB] fra en enkelt kilde (nr.  $i$ ), til usikkerheden på beregningsresultatet, når der er brugt katalogdata for styrken af kilden.

#### 4.1.2 Kombineret bidrag fra flere kilder

Når beregningsresultatet er en sum af uafhængige bidrag  $L_{p,i}$  [dB] fra flere støjkilder, fastlægges kildernes bidrag  $\sigma_{\text{kil}}$  til usikkerheden på beregningsresultatet ved hjælp af udtrykket (5).

Standardusikkerheden  $\sigma_i$  fra kilderne vægtes i (5) med størrelsen  $L_{p,i}$  af bidraget fra kilden.

<sup>4)</sup> Som for eksempel data om lastbiler fra Støjtabbogen, jf. [8], eller fra Rapport 21/2008: "Støj fra lastbiler", jf. [9], samt data om motorsportskøretøjer i motorsportsvejledningen, jf. [10].

<sup>5)</sup> Som for eksempel data fra Afsnit 7.1 om kildestyrke af bygninger i [1].



$$\sigma_{kil} = \frac{\sqrt{\sum_i \left( \sigma_i \cdot 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \right)^2}}{\sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}} \quad [dB] \quad (5)$$

Når støjbidrag ikke er uafhængige, hvilket er tilfældet, når støjbidragene fra flere kilder er baseret på de samme målinger af kildestyrke, skal bidragene fra gruppen af støjkilder adderes, og summen af de indbyrdes afhængige støjbidrag, benyttes i udtrykket (5) til at vægte standardusikkerheden for de afhængige støjkilder.

Kildestandardusikkerheden i udtrykket (5) er eksemplificeret i udtrykket (6) nedenfor. I udtrykket indgår støjbidragene fra de uafhængige kilder:  $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$  og  $L_{pn}$  samt summen,  $L_{p(i+j+k)}$ , af støjbidragene fra tre afhængige kilder:  $L_{pi}$ ,  $L_{pj}$ , og  $L_{pk}$ .  $\sigma_{i+j+k}$  angiver standardusikkerheden på det samlede bidrag fra de tre afhængige kilder. Betegnelserne kan genfindes i diagrammet i Figur 3.

$$\sigma_{kil} = \frac{\sqrt{\left( \sigma_1 \cdot 10^{\frac{L_{p1}}{10}} \right)^2 + \left( \sigma_2 \cdot 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \right)^2 + \left( \sigma_{i+j+k} \cdot 10^{\frac{L_{p(i+j+k)}}{10}} \right)^2 + \left( \sigma_n \cdot 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)^2}}{10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p(i+j+k)}}{10}} + 10^{\frac{L_{pn}}{10}}} \quad [6]$$

Støjen fra udstrakte kilder og fra kilder i bevægelse beregnes ofte som summen af bidrag fra kildens/kørevejens forskellige dele. Når disse bidrag er indbyrdes uafhængige, dvs. baseret på forskellige målinger af kildestyrke, skal de indgå som selvstændige kilder ved fastlæggelse af usikkerheden efter udtrykket (5). Er bidragene derimod ikke indbyrdes uafhængige, er det summen af bidragene fra den udstrakte kilde (svarende til kilde nr. i, j og k i (6)), som skal vægtes med standardusikkerheden efter udtrykket (6). Operationer med forskellige køretøjer anses for uafhængige, når kildestyrken af hvert af køretøjerne er målt, hvorimod bidrag beregnet ved brug af den samme kildestyrke fra et katalog anses for at være indbyrdes afhængige.

## 4.2 Bidrag fra beregningen

Det er valgt at betragte bidraget fra beregningerne til usikkerheden på beregningsresultatet som en standardusikkerhed på summen af samtlige støjbidrag.

Referencelaboratoriet har vurderet – på baggrund af blandt andet resultaterne af beregninger gennemført i de sammenlignende støjmålinger – at dette bidrag svarer til en standardusikkerhed på 1 dB, når personer godkendt til ”Miljømåling – ekstern støj” gennemfører beregninger ved korrekt brug af verificeret software, se også kommentarerne i Bilag 2.

$$\sigma_{ber} = 1 \text{ dB} \quad (7)$$

## 5. Sammenfatning

Fremgangsmåden ved fastlæggelse af ubestemtheden på et beregnet niveau af ekstern støj fra virksomheder er resumeret i Figur 3 nedenfor.

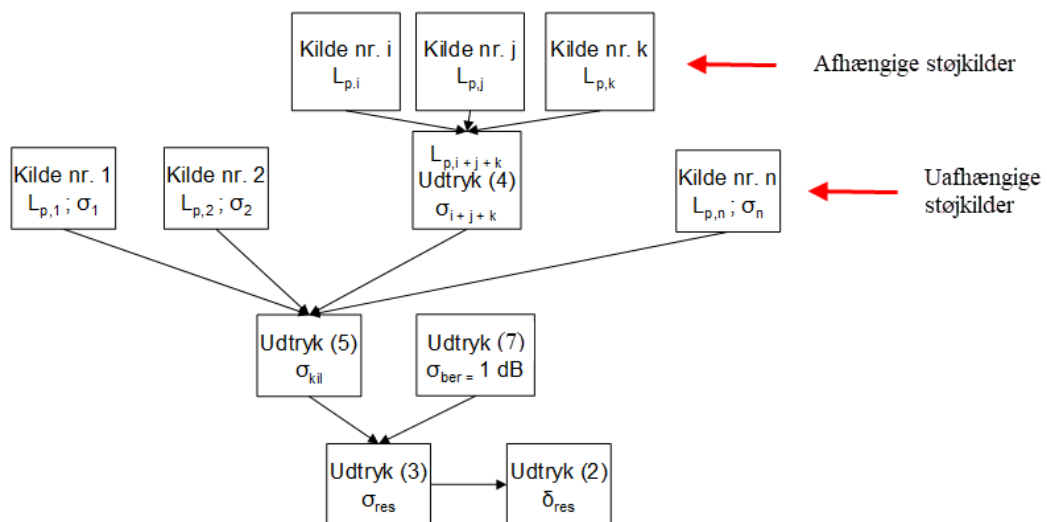
For hver kilde fastlægges bidraget  $L_{p,i}$  til støjniveauet i beregningspunktet og standardusikkerheden fra kilden på dette bidrag,  $\sigma_i$ . Standardusikkerhederne fra kilderne kombineres ved hjælp af udtrykket (5) til den kombinerede standardusikkerhed fra kilderne,  $\sigma_{kil}$ .

En gruppe af ikke-uafhængige kilder betragtes som én kilde med samme standardusikkerhed fra kilderne som hver enkelt kilde, jf. udtrykket (6).

Den kombinerede standardusikkerhed fra kilderne lægges ved hjælp af udtrykket (3) sammen med standardusikkerheden  $\sigma_{ber}$  fra beregningen. Dermed er den resulterende standardusikkerhed  $\sigma_{res}$  fastlagt.

Den udvidede standardusikkerhed  $\delta_{res}$  (tidligere kaldt ”ubestemtheden”) fastlægges ved at gange  $\sigma_{res}$  med dækningsfaktoren 1,65, jf. udtrykket (2).

Den udvidede standardusikkerhed fastlagt på denne måde er som regel mellem 2 dB og 4 dB, og Referencelaboratoriet anbefaler metoden anvendt ved fremtidige beregninger.



**Figur 3** – Diagram visende fremgangsmåden ved fastlæggelse af ubestemtheden på et beregnet niveau af ekstern støj fra en virksomhed med både uafhængige og afhængige kilder.

## 6. Referencer

Ud over de kilder [1] – [10], der er egentlig reference til i nærværende orientering, er der i listen refereret til anvisninger om definitioner, procedurer mv.

- [1] Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 5/1993: *Beregning af ekstern støj fra virksomheder*, København, 1993.
- [2] Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger: *Orientering nr. 24. Måling eller beregning af ekstern støj*, RL 56/94, Kgs. Lyngby, 1994.
- [3] Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6/1984: *Måling af ekstern støj fra virksomheder*. København, 1984.
- [4] ISO, *Guide for the expression of uncertainty in measurement (GUM)*.
- [5] Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger: *Orientering nr. 29. Vurdering og præsentation af måle- og beregningsresultater*, RL 17/00, Kgs. Lyngby, 2000.
- [6] Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9/1997: *Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø*, København, 1997.
- [7] Nordtest metode NT ACOU 080: *Industrial Plants: Noise Emission*, ISSN 0283-7145, ESBO 1992.
- [8] *Støjdatabogen. Beskrivelse af industrielle støjkilder*, Lydteknisk Institut, Kgs. Lyngby, 1986–1989.
- [9] Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger: *Rapport 21 – 3.udgave: Støj fra lastbiler, Målinger 2008*.
- [10] Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2/2005: *Støj fra motorsportsbaner*.
- [11] ISO 1996-2, *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels*.
- [12] DANAK Retningslinie nr. 11, *DANAK's politik for måleusikkerhed ved kalibrering og prøvning*, 7. februar 2002.
- [13] *The expression of uncertainty in Quantitative Testing*, EAL – G23.
- [14] *Bestemmelse af måleusikkerhed*, DANAK Teknisk Forskrift nr. TF8, 20. maj 1998.

## Bilag 1 – Eksempler

Resultaterne i eksemplerne er flere steder angivet med flere decimaler end normalt for at muliggøre deres brug som testeksempler. I Orientering nr. 29, jf. [5], er det angivet, hvordan resultater bør vurderes og præsenteres i støjrapporter.

### Eksempel 1: To stationære støjkilder

#### Kilde nr. 1

En skorsten giver et bidrag på  $L_{p,1} = 52,3$  dB re 20  $\mu$ Pa. Kildestyrken er bestemt ved hjælp af kuglemetoden under gode forhold, dvs. standardusikkerheden fra kilden  $\sigma_1 = 2$  dB, jf. Tabel 1.

#### Kilde nr. 2

En kompressor giver et bidrag  $L_{p,2} = 47,4$  dB re 20  $\mu$ Pa. Kildestyrken er bestemt ved hjælp af kassetmetoden under mindre gode forhold, dvs.  $\sigma_2 = 3$  dB, jf. Tabel 1.

#### Kilde nr. 1 og 2

Summen af bidragene er 53,51755 dB re 20  $\mu$ Pa, og den kombinerede standardusikkerhed fra kilderne efter udtrykket (5):

$$\sigma_{kil} = \frac{\sqrt{\left(2 \cdot 10^{\frac{52,3}{10}}\right)^2 + \left(3 \cdot 10^{\frac{47,4}{10}}\right)^2}}{10^{\frac{52,3}{10}} + 10^{\frac{47,4}{10}}} = 1,67964 \text{ dB}$$

Med  $\sigma_{ber} = 1$  dB bliver den resulterende standardusikkerhed  $\sigma_{res} = 1,95478$  dB ifølge udtrykket (3) og den resulterende udvidede usikkerhed  $\delta_{res} = 3,22539$  dB ifølge udtrykket (2).

### Eksempel 2: Som i Eksempel 1, men med yderligere 12 stationære kilder

Ud over kilderne fra Eksempel 1 er der på virksomhedens tag 12 ventilationsafkast, som ifølge virksomheden er ens. Der er en del baggrundsstøj, som gør det vanskeligt at måle kildestyrken, så måleteknikerer vælger stikprøvemæssigt at måle kildestyrken af de tre af de 12 afkast, hvor baggrundsstøjen har mindst betydning.

Kildestyrkerne måles til hhv. 87,0 dB, 84,0 dB og 84,1 dB, dvs. med en energimæssig middelværdi på 85,26948 dB re 1pW og en standardusikkerhed fastlagt efter udtrykket (1) på 1,70392 dB.

Med middelværdien af de 3 kildestyrker er der beregnet støjbidrag fra hver af de 12 afkast og resultatet er vist i Tabel 3 for ét immissionspunkt. Da der er benyttet samme kildestyrke til at beregne de 12 støjbidrag, anses støjkilderne for afhængige og da  $n > 2$  skal der ifølge udtrykket (1) og (4) tilknyttes en usikkerhed på  $\sigma_{estim} = 1,70392$  dB til at vægte summen af de 12 støjbidrag i udtrykket (5).

Energisummen af de 12 støjbidrag er 52,92039 dB re 20  $\mu$ Pa, og det totale støjniveau fra de i alt 14 støjkilder er 56,23952 dB re 20  $\mu$ Pa.

<b>Afkast nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Bidrag [dB]	42,32393	41,79735	41,23221	40,70161	40,14104	39,55787
<b>Afkast nr.</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Bidrag [dB]	44,82270	44,03253	43,13628	42,32393	41,58109	40,63751

**Table 3** – Beregnede støjbidrag [dB re 20  $\mu$ Pa] fra de 12 afkast bestemt med kildestyrken fastlagt som gennemsnitsværdien af de 3 målte kildestyrker.

Sammen med usikkerhedsbidragene fra skorsten og kompressor bliver den kombinerede standardusikkerhed fra disse 14 støjkloder efter udtrykket (5):  $\sigma_{kil} = 1,19794$  dB.

Med  $\sigma_{ber} = 1$  dB bliver den resulterende standardusikkerhed for de 14 støjkloder  $\sigma_{res} = 1,56047$  dB ifølge udtrykket (3) og den resulterende udvidede usikkerhed  $\delta_{res} = 2,57477$  dB ifølge udtrykket (2).

### Eksempel 3: Som i Eksempel 2, men med yderligere 2 bevægelige støjkloder

Ud over støjkloderne i Eksempel 2 bidrager også støjen fra to typer af operationer med køretøjer til det totale støjniveau i beregningspunktet, nemlig:

- Ankomster og afgang af lastbiler, som leverer råvarer og afhenter færdigvarer
- Truckkørsel ved af- og pålæsning

Levering af råvarer og afhentning af færdigvarer foregår med lastbiler, og deres bidrag til det resulterende støjniveau er beregnet til 54,6 dB re 20  $\mu$ Pa, som summen af delkildebidragene fra hvert segment af kørselsruten. Delkildebidragene fra kørselsruten er afhængige, fordi de er beregnet ud fra samme kildestyrke. Usikkerheden fra kilderne på summen af delbidragene fra kørsel med lastbiler karakteriseres ifølge Tabel 2 ved standardusikkerheden 3 dB på det samlede bidrag på 54,6 dB.

Af- og pålæsning foretages med virksomhedens gaffeltruck, hvis kildestyrke er målt under gode akustiske forhold. Til det beregnede samlede støjbidrag fra gaffeltruckens kørselsrute på 47,8 dB re 20  $\mu$ Pa skal der ifølge Tabel 1 knyttes en standardusikkerhed fra kilden på 3 dB.

Summen af samtlige 16 støjklodebidrag er 58,86118 dB re 20  $\mu$ Pa, og den kombinerede standardusikkerhed fra kilderne efter udtrykket (5):  $\sigma_{kil} = 1,32251$  dB.

Med  $\sigma_{ber} = 1$  dB bliver den resulterende standardusikkerhed  $\sigma_{res} = 1,65802$  dB ifølge udtrykket (3) og den resulterende udvidede usikkerhed  $\delta_{res} = 2,73574$  dB ifølge udtrykket (2).

## Bilag 2 – Kommentarer

### Usikkerhed på driftstid mv.

Når en støjkilde er i drift i en del af, men ikke hele referencetidsrummet, korrigeres kildestyrken for varigheden af driften. En ændring af varigheden på 20 % ændrer støjbidraget med ca. 1 dB. Varigheden er en af forudsætningerne for beregningen, og det er valgt ikke at betragte fejltagelser begået ved fastlæggelse af varigheden som bidrag til usikkerheden på resultatet. Dette valg er truffet i erkendelse af, at det ikke er muligt at udforme entydige, alment gyldige regler for fastlæggelse af usikkerhedsbidrag for varighedskorrektioner. Det er muligt at begå vilkårligt store fejltagelser.

Noget tilsvarende gælder kildens driftsforhold. Hvis støjniveauerne målt ved kilden ikke er repræsentative for den aktuelle kilde under virkelig drift, så er den fastlagte kildestyrke forkert.

### Bidrag fra udstrakte støjklider og fra kilder i bevægelse

Støjen fra udstrakte kilder beregnes ofte som summen af bidrag fra kildens forskellige dele. Er disse bidrag indbyrdes uafhængige, skal de hver for sig indgå som selvstændige kilder ved fastlæggelse af usikkerheden efter udtrykket (5). Er bidragene derimod ikke indbyrdes uafhængige, er det summen af bidragene fra den udstrakte kilde, som skal indgå, jf. udtrykket (6).

Kilder anses for uafhængige, når deres kildestyrke er fastlagt ud fra forskellige støjmålinger. Målinger udført på forskellige tidspunkter af forskellige personer med forskelligt udstyr er uafhængige. Målinger udført umiddelbart efter hinanden af den samme person med det samme udstyr i positioner ved en udstrakt støjkilde i samme driftssituation er indbyrdes afhængige. Målinger af støj fra for eksempel et køretøj, som arbejder på forskellig måde (tomgang, acceleration, jævn fart, brug af redskaber) anses for uafhængige, selv om de er udført umiddelbart efter hinanden af den samme person med det samme udstyr.

Støjen fra et køretøj beregnes ved at opdele dets rute i delstrækninger og beregne bidraget fra hver delstrækning til støjniveauet i beregningspunktet. Til summen af denne gruppe af bidrag skal der ved ”Miljømåling – ekstern støj” knyttes usikkerheden svarende til én støjkilde.

### Usikkerhed fra beregningen

Der blev undersøgt forskellige mulige måder at håndtere usikkerheden fra beregningen, da denne orientering blev udarbejdet. I Orientering nr. 24, jf. [2], indgår der et bidrag  $\delta_{ber}$  fra udbredelsesdæmpningen til usikkerheden på bidraget fra den enkelte kilde. I nærværende orientering er det valgt at betragte denne usikkerhed som en usikkerhed på summen af samtlige støjbidrag.

Med den valgte definition af den sande værdi af det beregnede støjniveau er usikkerheden fra beregningen et mål for den forskel, der ville være i beregnet støjniveau, hvis forskellige personer uafhængigt af hinanden beregnede med den samme kildestyrke i den samme beregningssituation, herunder indsamlede data om afstande, højder, terrænets egenskaber mv.

Usikkerheden fra beregningen afhænger af, hvor entydigt den konkrete situation tolkes af forskellige brugere af beregningsmetoden og af, hvordan situationen tolkes af deres software. Blandt de parametre, der har betydning, men som det ikke har været muligt for Referencelaboratoriet at kvantisere virkningen af, er:

- Hvor godt repræsenterer beregningsforudsætningerne virkeligheden?
- Er der en/flere refleksioner?
- Er der en/flere skærme? Hvor godt ligner skærmene en uendeligt tynd skærm med lige overkant og lodrette kanter? Er den effektive højde i nærheden af nul, således at variationer af skærmens højde får særlig stor betydning for beregningsresultatet?
- Er terrænet porøst? Er det ujævnt? Er kilde og/eller beregningspunkt lavt placeret, således at variationer af kildehøjden får særlig betydning for beregningsresultatet?

Man kan principielt bedømme, hvor følsom et beregnet støjniveau er ved – for den konkrete situation – at beregne støjniveauet i et antal punkter i et ”rumligt net” omkring beregningspunktet. Er der stor variation fra punkt til punkt, er usikkerheden fra beregningen stor, og er der lille variation, er usikkerheden lille. Udfaldet vil afhænge af blandt andet de ovenfor nævnte forhold.

Set fra et administrativt synspunkt er det imidlertid vigtigere, at alle, som beregner ekstern støj fra virksomheder, når frem til den samme usikkerhed, end at usikkerheden er objektivt rigtig. Fastlæggelse af en ”korrekt” usikkerhed, ud fra for eksempel en følsomhedsanalyse som ovenfor skitseret, er meget arbejdskrævende og efter Referencelaboratoriets vurdering ude af proportioner med kravene til dokumentation af ”Miljømåling – ekstern støj”. I stedet er der i denne orientering beskrevet en enkel og administrativt sikker fremgangsmåde til fastlæggelse af usikkerheden, bygget på erfaring og fagligt skøn.

I de sammenlignende støjmålinger har standardafvigelsen i beregningsopgaverne været mellem 0,1 dB og 0,7 dB for de resultater, der ikke var behæftet med fejl. Afstandene mellem støjkluder og beregningspunkter var i alle tilfælde mindre end ca. 30 m, terrænet var overvejende plant, højder mv. var defineret i teksten fra Referencelaboratoriet. Det må forventes, at usikkerheden fra beregningen ved ”Miljømåling – ekstern støj” gennemført for mere komplekse situationer er større, end det er konstateret i de sammenlignende målinger, og der er fastsat en værdi på 1 dB for standardusikkerheden fra beregningen.