

# ORIENTERING FRA MILJØSTYRELSENS REFERENCELABORATORIUM FOR STØJMÅLINGER

## Måling af kildestyrke, skannemetoden

Orientering nr. 53

CB/JEL/ilk

September 2020

### Resume

Når kildestyrken skal måles, er kassetmetoden velegnet, når plads- og baggrundsstøjforholdene umuliggør brug af kuglemetoden.

Kassetmetoden foreskriver imidlertid mange målepunkter og medfører ofte et større opmålingsarbejde, inden målingerne kan startes.

I denne orientering beskrives en metode, der er identisk med kassetmetoden, bortset fra at målingerne i faste målepunkter erstattes med målinger, hvor mikrofonen kontinuerligt bevæges (skannes) over en flade eller langs rette linjer.

Skannemetoden kan fremover benyttes på lige fod med kassetmetoden i forbindelse med målinger af kildestyrke, der skal benyttes til dokumentation af ekstern støj, jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993.



## Indhold

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Indledning .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2. Eksisterende metoder.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>3. Skannemetoden .....</b>   | <b>6</b>  |
| 3.1 Udførelse af skannemetoden.....   | 6         |
| <b>4. Referencelaboratoriets undersøgelse af alternative 3 skannemetoder.....</b> | <b>7</b>  |
| 4.1 Resultater af undersøgelsen af 3 skannemetoder .....                          | 10        |
| 4.1.1 Lille højttaler på terræn.....  | 10        |
| 4.1.2 Lav støjkilde .....   | 11        |
| 4.1.3 Høj støjkilde.....  | 12        |
| 4.2 Vurdering af måleresultaterne .....   | 13        |
| 4.3 Begrænsninger i undersøgelsen .....   | 13        |
| <b>5. Anbefalinger .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>6. Konklusion.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>7. Referencer.....</b>   | <b>14</b> |

## 1. Indledning

Beregninger af støj fra virksomheder, dvs. måling af kildestyrke og efterfølgende beregning af støjbidraget i naboområderne, er i dag den normale måde til dokumentation af en virksomheds støjbelastning af omgivelserne. Metoden kaldes kort for støjkortlægning.

Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993: "Beregning af ekstern støj fra virksomheder" [2] angiver 4 metoder til at måle kildestyrker: Kugle- og kassemetoden samt metode til procesanlæg og ekstrapolationsmetoden. De to førstnævnte metoder egner sig til målinger på enkeltstående kilder, fx mindre kompressorer, luftafkast og portåbninger, medens de to sidstnævnte metoder bruges til bestemmelse af den samlede kildestyrke for en samling af kilder, eventuelt hele virksomheden.

Kuglemetoden er velegnet til støjklender, hvor der er mulighed for at måle i god afstand fra kilden, uden at målingerne påvirkes af støj fra andre kilder eller af baggrundsstøjen i det hele taget. Kassemetoden bruges ofte, hvor der på grund af baggrundsstøjen eller praktiske forhold er behov for at måle tæt på kilden.

Det er Referencelaboratoriets opfattelse, at stort set alle målinger ved støjkortlægninger i Danmark foregår efter kugle- eller kassemetoden, og at metoderne benyttes nogenlunde lige meget.

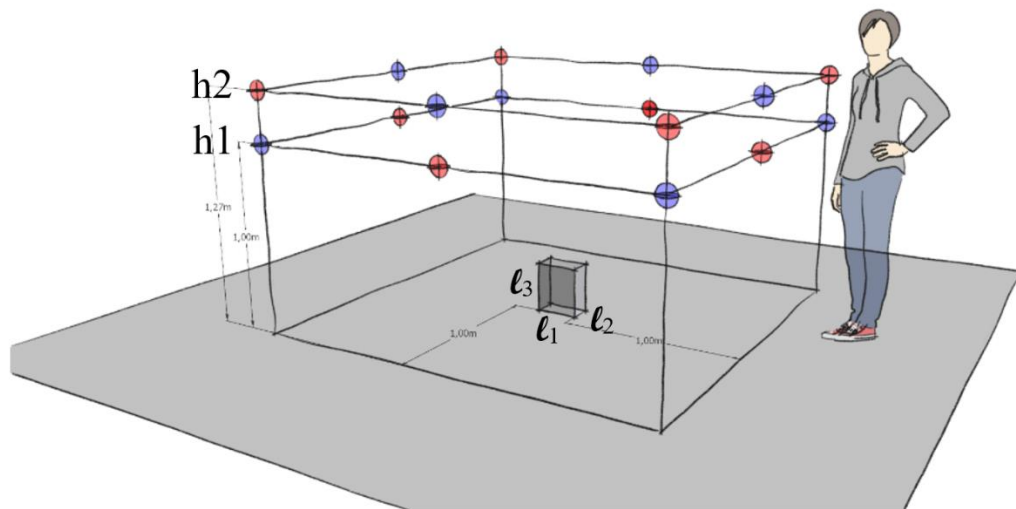
Der er ofte behov for at måle på mange støjklender, og det giver erfaringsmæssigt et meget stort tidsforbrug ved målinger efter kassemetoden, hvor der skal måles i mange punkter omkring hver kilde (mindst 8, 5 og 3 punkter for en kilde nær henholdsvis ingen, én eller to lodrette, reflekterende flader). Ydermere skal man under målingerne kontrollere, at forskellen mellem lydtrykniveauet i to vilkårlige målepunkter på målefladen ikke overstiger 6 dB. Hvis dette er tilfældet, skal antallet af målepunkter fordobles. Dette kan være problematisk i forbindelse med støjkortlægninger af virksomheder med mange og tætsiddende kilder, hvor kassemetoden er den eneste brugbare målemetode.

Ovenstående erfaringer med kassemetoden har givet anledning til at undersøge, om det er muligt at opnå samme resultater ved at skanne målemikrofonen langs måleboksens flader, som det kendes fra lydintensitetsmålinger.

## 2. Eksisterende metoder

Kassemetoden [1], der benyttes i Danmark, stammer fra en Nordtest-metode, der er en simplificering af ISO-standarden 3744, og kassemetoden indeholder 10-20 målepositioner. Den kaldes også Short Distance Method, fordi den muliggør kildestyrkemålinger helt tæt på støjkilden. Short Distance Method blev først beskrevet i SP-RAPP 1981:45 Borås 1981.

Nedenfor er illustreret opstillingen af beregningsnettet i kassemetoden, hvorpå målepunkterne placeres på en måleflade (en "kasse") i afstanden  $a = 1$  m fra siderne af en kasse, der omslutter måleobjektet. Den viste måleflade har 5 frie sider.



**Figur 1**

Kassemetoden er her illustreret anvendt til måling af kildestyrken fra en lille højttaler. De primære målepunkter er vist med rødt, og de supplerende målepunkter er vist med blåt. Målepunkterne placeres på vandrette linjer i 2 højder ( $h1$  og  $h2$ ). Figuren stammer fra den 24. sammenlignende støjmåling.

Støjkilden indskrives i den mindst mulige imaginære kasse med 3, 4, 5 eller 6 frie sider, afhængigt af støjkildens aktuelle beliggenhed i forhold til reflekterende flader. Selve målefladen fastlægges i en vis afstand ( $a$ ) vinkelret ud fra referenceboksens flader. Afstanden  $a$  skal være større end 15 cm, men for at få en god målenøjagtighed bør afstanden være større end 1 meter eller så stor som muligt, jf. [1] afsnit 6.3.1.

Idet referenceboksens dimensioner for længde, bredde og højde betegnes  $l_1$ ,  $l_2$  og  $l_3$  er målefladens højde  $l_3+a$ . Herudfra bestemmes de to mikrofonmålehøjder  $h1 = (l_3+a)/2$  og  $h2 = l_3+a$ . Mikrofonhøjden  $h1$  skal dog mindst være 1 meter over terræn som vist på Figur 1.

### 3. Skannemetoden

Metoden med at skanne overflader med intensitetsudstyr i stedet for at måle i en antal punkter er beskrevet i ISO 9614 del 2 og 3 [3], som bygger på ISO-standarderne ISO 3740-3747 om målinger af kildestyrke (lydeffekt) udført indendørs i et målerum. ISO 9614 åbner for mulighederne for at måle kildestyrker via intensitetsmåleudstyr ”in situ”, altså i felten.

I denne orientering beskrives en metode til udførelse af en alternativ skanne-målemetode som et supplement til kassemetoden, hvor alene lydtrykkniveauet måles. Denne alternative skanne-metode er grundlæggende den samme som kassemetoden, fordi fastlæggelsen af referenceboksen, målefladerne og -punkterne foregår på samme måde. Ligeledes foregår beregningen af kildestyrken (på grundlag af måleværdier og målefladens areal) på samme måde som ved kassemetoden. Men i stedet for måling i enkeltpunkter ét ad gangen bevæges mikrofonen på måleboksens areal. Man kan sige, at en skanning over et areal eller langs en linje teoretisk set indeholder uendelig mange enkeltpunkter, og at skanningen derfor bedre repræsenterer udstrålingen fra støjilden end et antal faste punkter på målefladen. Dette forudsætter selvfølgelig, at mikrofonen hele tiden bevæges inden for målefladen med en konstant hastighed, og at skannelinjerne ligger forholdsvis tæt på hinanden som beskrevet nedenfor. Prisen for ”uendelig” mange målepunkter er ”uendelig” lille måletid i hvert punkt.

#### 3.1 Udførelse af skannemetoden



**Figur 2**

*Eksempler på skannemønstre, jf. ISO 9614-2 ”Bestemmelse af lydeffekt fra støjilder ved måling af lydintensitet. Del 2: Scanning-metode”[3].*

*Samme mønstre kan bruges i de 3 skannemetoder, der er beskrevet i teksten.*

En skanning med en mikrofon betyder en midling af lydtrykkniveauet over målefladen udført ved at bevæge mikrofonen kontinuerligt inden for målefladens afgrænsning. Det kan være praktisk at opdele målefladerne i mindre felter, hvis rørtilføringer og lignende besværliggør en kontinuerlig skanning, eller hvis støjen er varierende hen over overfladen. Målemikrofonen skal føres med en konstant hastighed på mellem 10 cm og 50 cm i sekundet. Varigheden for skanning af en delflade skal være mindst 20 sekunder.

Afstanden mellem naboskannelinjer skal holdes konstant og være mindre end afstanden fra målefladen til støjekilden, dvs. den afstand som i kassemetoden kaldes  $a$ .

Optagelserne/målingen af skanningen bør pauses, hvis mikrofonen skal udenom forhindringer på målefladen.

Hvis støjekilden er intermitterende, skal det sikres, at målingerne udføres over en hel periode/driftscyklus. I disse tilfælde kan det måske være mest hensigtsmæssigt at måle i de normale enkeltpositioner efter kassemetoden.

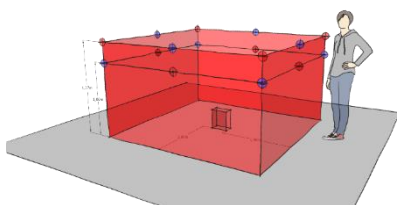
I praksis kan skanneafstanden nemmere fastholdes ved at markere målefladens skæring med terræn fx med kridtstreger, eller man kan lægge en tommestok eller en pind på jorden.

#### 4. Referencelaboratoriets undersøgelse af alternative 3 skannemetoder

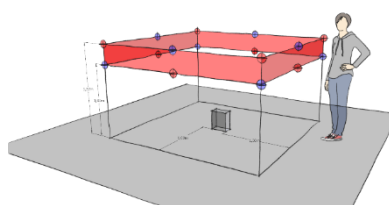
Der er i det følgende beskrevet en undersøgelse foretaget af Referencelaboratoriet i januar-februar 2019, hvor forskellige støjekilder (højtalere med lyserød støj) blev målt dels med kugle- og kassemetoden, dels ved at skanne målekassens sider som beskrevet i afsnit 3.1.

De 3 undersøgte skanneområder er illustreret med rødt nedenfor:

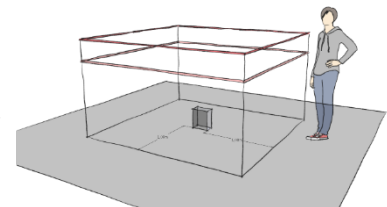
”Helsideskanning” (Figur 3), ”Områdeskanning” (Figur 4) og ”Linjeskanning” (Figur 5).



**Figur 3**  
*Helsideskanning*



**Figur 4**  
*Områdeskanning mellem  
højderne  $h_1$  og  $h_2$*



**Figur 5**  
*Linjeskanning i højderne  $h_1$  og  
 $h_2$  (kun de horisontale linjer)*

Som vist på Figur 3 – Figur 5 blev den samme måleboks anvendt, som er defineret i kassemetoden, idet målefladen er givet ved 8 primære punkter (røde) og 8 yderligere punkter (blå) placeret i to højder:  $h_1$  og  $h_2$ .

Målet med undersøgelsen var at udpege, hvilke af de tre skannemetoder som giver de mindste afvigelser i forhold til den eksisterende kassemetode beskrevet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993, og som egner sig bedst som et alternativ til måling i enkeltpunkter. Som reference blev der også målt efter kuglemetoden, som betragtes som en mere præcis metode end kassemetoden til bestemmelse af kildestyrke.



Referenceboksen blev fastlagt som normalt for kassemetoden beskrevet i [1] afsnit 6.1.2.

Støjkilderne blev repræsenteret af i alt to typer højttalere: To større højttalere på et rullebord og en lille højttaler målt i forholdsvis stor afstand. De to større højttalere var placeret ved siden af hinanden på rullebordet – den ene pegende lodret opad og den anden pegende vandret ind mod den første højttaler som vist på billedet i Tabel 1. Der blev til alle målinger anvendt lyserød støj.

Målingerne blev foretaget over hårdt terræn i god afstand til reflekterende lodrette objekter. Der blev målt om aftenen for at minimere baggrundstøjen. Målefladerne blev i denne undersøgelse markeret med 4 lasere for at øge præcisionen af skanningen med mikrofonen. Ved udførelse af punktmålingerne i henhold til kasse- og kuglemetoden blev mikrofonerne placeret på et stativ.

Ud over data fra den beskrevne undersøgelse indgår der også i den samlede vurdering af skannemetoden måldata fra den 24. sammenlignende støjmåling, som blandt andet omhandlede kassemetoden. I 24. sml. støjmåling deltog 34 akkrediterede eller certificerede personer og laboratorier, som alle fik tilsendt en lille højttaler (Fenton STO40), som kildestyrken skulle bestemmes for ved at benytte kassemetoden og ved at skanne hele målefladen (se Figur 3).



| Metode / Støjkilde                | 1 højttaler på terræn   | 2 højttalere (lav kilde)<br>nederst på rullebord   | 2 højttalere (høj kilde)<br>øverst på rullebord   |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Højttalertype                     | Fenton STO40<br> | IMG Stageline AK-15DMP<br> | IMG Stageline AK-15DMP<br> |
| Støjkildens dimensioner HxBxD     | 27 cm x 23 cm x 12 cm   | 70 cm x 36 cm x 45 cm  |   |
| Kuglemetode (MST nr. 5/1993)      | 8 punkter for R = 1 m og 2 m  | 8 punkter for R = 5 m  |   |
| Kassemetode (MST nr. 5/1993)      | 16 punkter for a = 1 m og 2 m   | 16 punkter for a = 0,3 m, 0,5 m og 1 m   |   |
| 1) Helsideskan                    | 5 sider for a = 1 m og 2 m  | 5 sider for a = 0,1 m, 0,3 m, 0,5 m og 1 m   |   |
| 2) Områdeskanning mellem h1 og h2 | 4 sider for a = 1 m og 2 m  | 4 sider for a = 0,3 m, 0,5 m og 1 m  |   |
| 3) Linjeskanning langs h1 og h2   | 4 sider for a = 1 m og 2 m  | 4 sider for a = 0,3 m, 0,5 m og 1 m  |   |

**Table 1**

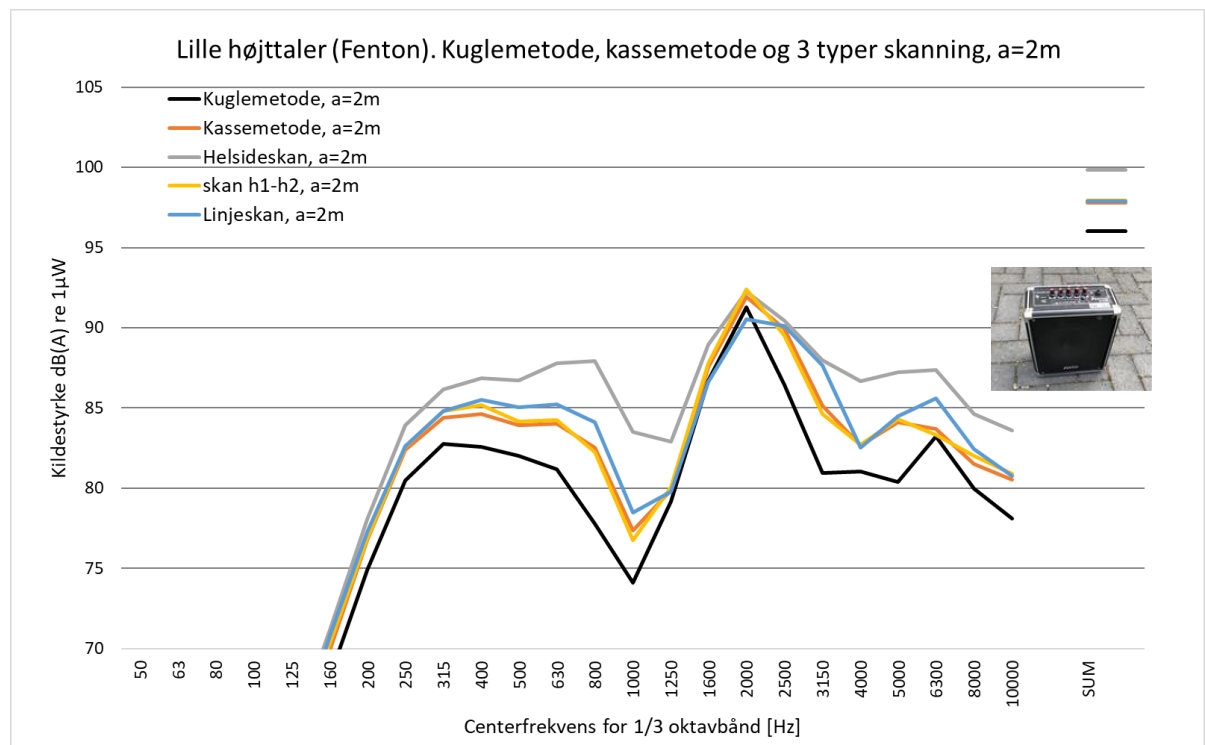
*Testobjekter og målemetoder i Referencelaboratoriets undersøgelse i 2019.*

## 4.1 Resultater af undersøgelsen af 3 skannemetoder

Resultatet af målinger på 3 forskellige støjklilder med 3 forskellige skannemetoder er vist i Figur 6 (lille støjkilde Fenton STO40), Figur 7 (lav støjkilde) og i Figur 8 (høj støjkilde).

Skannerresultaterne er sammenlignet med kugle- og kassemetoden [1]. Beregningerne er foretaget efter formel (6.3.4) i Vejledning nr. 5/1993, blot er formlens middelværdi af lydtrykniveauerne målt i de diskrete punkter erstattet af middelværdien af lydtrykniveauerne målt på skannemetodens flader eller linjer.

### 4.1.1 Lille højttaler på terræn



**Figur 6**

Kildestyrke af lille støjkilde (Fenton STO40 højttaler) på terræn fundet ud fra 5 metoder.

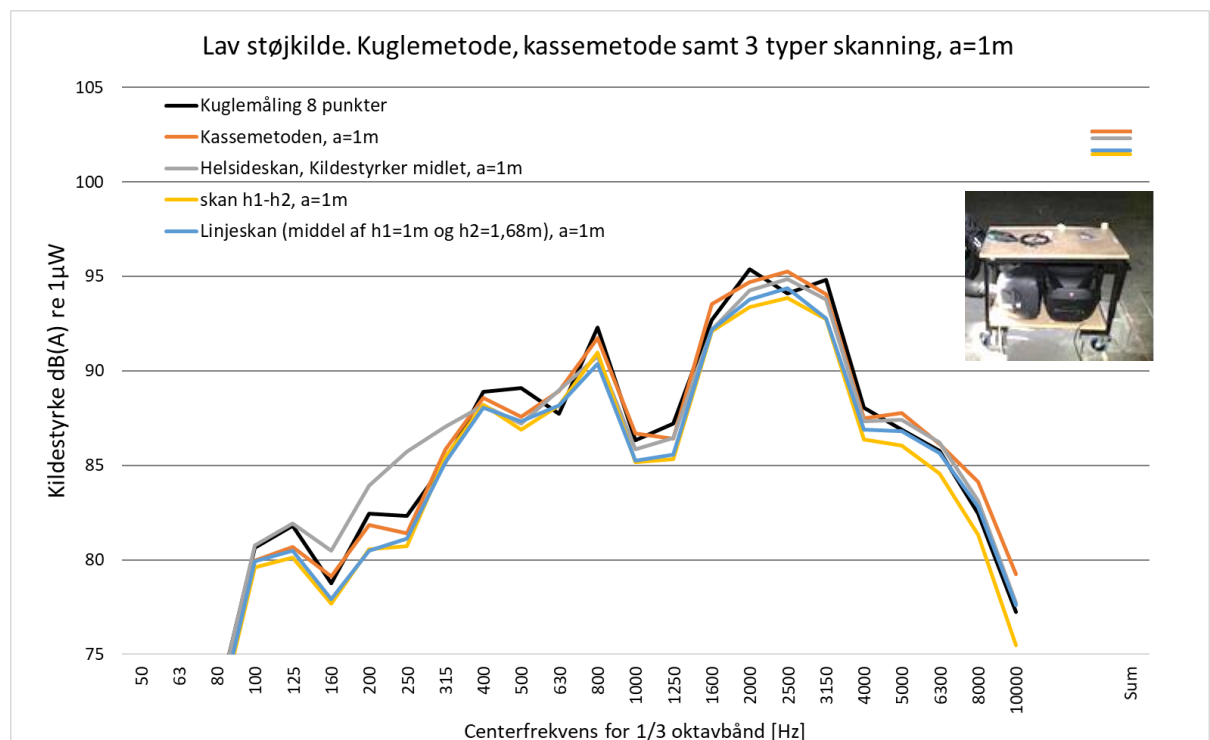
Det ses af Referencelaboratoriets målinger på Fenton STO40 højttaleren i Figur 6, at de spektrale afvigelser indbyrdes mellem de 5 metoder er ret store, op til 10 dB i visse frekvensbånd.

Afvigelser indbyrdes mellem kassemetoden, områdeskanne- (h1-h2) og linjeskannemetoden er dog forholdsvis små, ca. 1-2 dB. Helsideskanningen overestimerer støjen i de fleste frekvensbånd.

Kuglemetoden anvendt på den lille Fenton-højttaler giver den laveste totale kildestyrke:  $L_{WA} = 96,0 \text{ dB(A)}$ . Kildestyrken opnået med kasse-, områdeskanne- (h1-h2) og linjeskanne-metoderne ligger meget tæt på hinanden – mellem 97,8 dB og 97,9 dB.

Ovenstående analyser er udført i 1/3-oktaver for at få et tydeligere billede af afvigelserne mellem metoderne. Resultaterne af kildestyrkemålingerne benyttes dog normalt kun i de otte 1/1-oktaver i frekvensområdet 50-10.000 Hz.

#### 4.1.2 Lav støjkilde



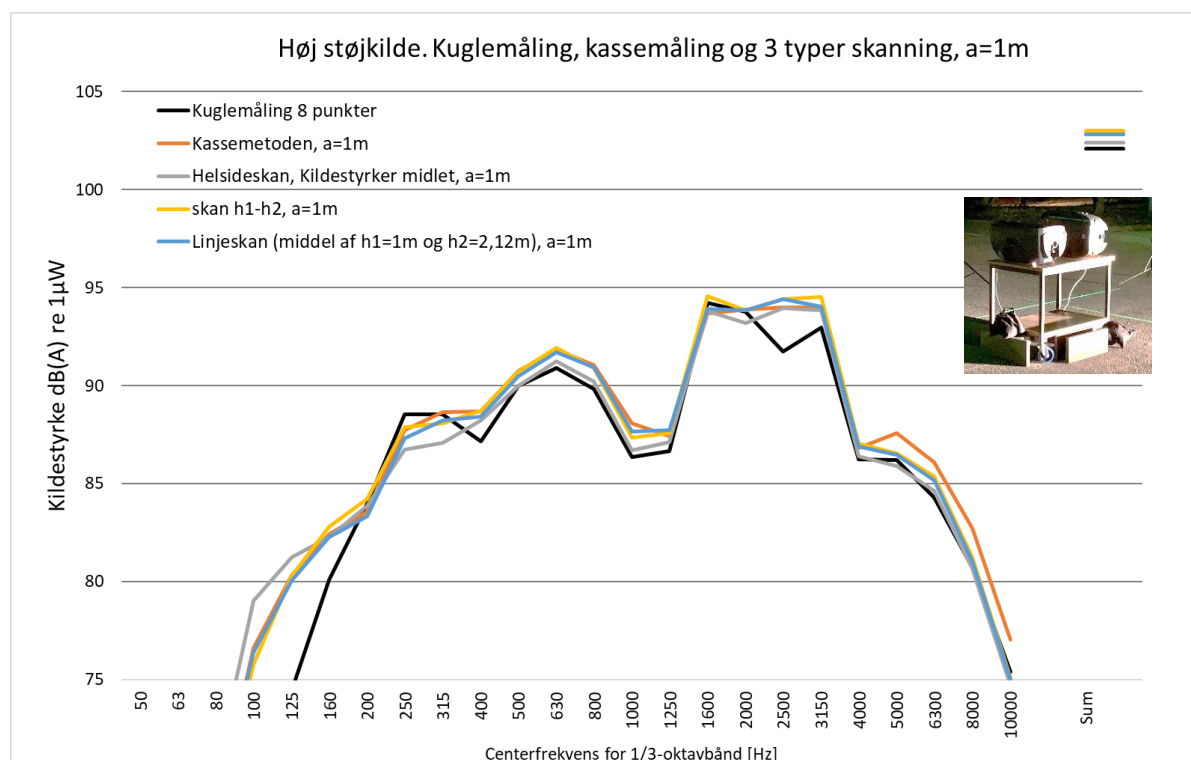
**Figur 7**

*Kildestyrke af lav støjkilde fundet ud fra 5 metoder. Støjkilden består af 2 større højttalere lagt på nederste hylde af et rullebord, den ene vendende opad, mens den anden ligger på siden i retning mod den første højttaler. Den øverste hylde giver en skærmning af lydmissionen opadtil og en vis refleksion ud til siderne. Dette giver en ikke-kugleformet retningskarakteristik.*

Resultaterne for målingerne på den lave støjkilde er vist i Figur 7. Det ses af kurverne, at de spektrale afvigelser ligger inden for 2 dB, bortset fra helsideskanningen, som overestimerer støjen i frekvensbåndene 160-315 Hz med 1-4 dB i forhold til de øvrige metoder. Kugle- og kassemetoden ses at give den samme totale kildestyrke  $L_{WA} = 102,7 \text{ dB(A)}$ .

Metoderne områdeskanning (h1-h2) og linjeskanning giver næsten ens resultater – henholdsvis 101,5 og 101,7 dB(A), dvs. de underestimerer kildestyrken med ca. 1 dB i forhold til kasse- og kuglemetoden.

#### 4.1.3 Høj støjkilde



**Figur 8**

*Kildestyrke af høj støjkilde fundet ud fra 5 metoder. Støjkilden består af 2 større højttalere lagt på et bord, den ene vendende opad, mens den anden ligger på siden i retning mod den første højttaler. Dette giver en ikke-kugleformet retningskarakteristik.*

Resultaterne for målingerne på den høje støjkilde er vist i Figur 8. Det ses af figuren, at de spektrale afvigelser for de tre skannemetoder og kassemetoden ligger inden for 2 dB. Det ses, at for den høje støjkilde ligger alle resultaterne over kuglemetodens totale kildestyrke. Alle de 5 metoder giver totale kildestyrker indenfor 0,9 dB. Kassemetoden, områdeskanne- (h1-h2) og linjeskannemetoderne giver næsten ens resultater, henholdsvis 102,9 dB, 103,0 dB og 102,8 dB.

## 4.2 Vurdering af måleresultaterne

Hvis der sammenlignes med kuglemetoden, som anses for mere præcis, fremgår det af Figur 6 og Figur 7, at kasse- og skannemetoderne generelt overestimerer kildestyrken fundet med kuglemetoden for den lave støjkilde og den lille støjkilde (Fenton STO40). Det forholder sig omvendt med den høje støjkilde (Figur 8), idet kildestyrken her underestimeres i forhold til kuglemetoden. Årsagen hertil er ikke undersøgt, da målet med denne undersøgelse er at forenkle udførelsen af de støjmålinger, der foretages med kassemetoden. Derfor er der i denne undersøgelse primært fokus på sammenligningen med den originale kassemetode.

Samlet set viser målingerne på de 3 typer støjkluder foretaget med 5 kildestyrkemetoder, at metoderne ”Områdeskanning mellem højderne  $h_1$  og  $h_2$ ” og ”Linjeskanning i højderne  $h_1$  og  $h_2$ ” giver de bedste resultater, idet de ligger tættest på de resultater, der blev opnået med kassemetoden.

## 4.3 Begrænsninger i undersøgelsen

Undersøgelsen repræsenterer kun et meget lille udvalg af støjkludertyper. Resultaterne vil variere med parametre som størrelsen af støjkluden, placering af eventuelle opadreflekterende lodrette flader, måleafstanden ( $a$ ), støjkludens frekvensspektrum m.m. Referencelaboratoriet vil fortsat indsamle data, som kan bidrage til at validere resultaterne fra denne undersøgelse, og opfordrer også måleteknikere til at foretage stikprøver af resultater opnået med både kassemetoden og de 2 alternative skannemetoder områdeskanning ( $h_1$ - $h_2$ ) og linjeskanning.

## 5. anbefalinger

Det anbefales som et alternativ til kassemetoden at måle efter én af de to skannemetoder: Områdeskanning mellem højderne  $h_1$  og  $h_2$  eller linjeskanning i højderne  $h_1$  og  $h_2$ .

Referenceboksen fastlægges som normalt for kassemetoden beskrevet i [1] afsnit 6.1.2. Støjkluden indskrives i den mindst mulige imaginære kasse med 3, 4 eller 5 frie sider afhængigt af støjkludens aktuelle beliggenhed i forhold til reflekterende flader samt dens karakteristiske dimension. Selve målefladen fastlægges i en vis afstand ( $a$ ) vinkelret ud fra referenceboksens flader. Afstanden  $a$  skal være større end 15 cm, men for at få en god målenøjagtighed bør afstanden være større end 1 meter eller så stor som muligt.

Idet referenceboksens dimensioner for længde, bredde og højde betegnes  $l_1$ ,  $l_2$  og  $l_3$  er målefladens højde  $l_3+a$ . Herudfra bestemmes de to mikrofonmålehøjder  $h_1 = (l_3+a)/2$  og  $h_2 = l_3+a$ , dog skal  $h_1$  være mindst 1 meter. Disse højder definerer dels den lodrette begrænsning af skannearealet for områdeskanningen ( $h_1$ - $h_2$ ), og dels de to højder som benyttes i linjeskanningen.

Målemikrofonen føres under skanningen med en konstant hastighed på mellem 10 cm og 50 cm i sekundet. Varigheden for skanning af en delflade skal være mindst 20 sekunder. Afstanden mellem naboskannelinjer skal holdes konstant, og den skal være mindre end afstanden  $a$  fra målefladen til støjkilden. Skanneoptagelsen/målingen bør pauses, hvis mikrofonen skal udenom forhindringer på målefladen, der hindrer jævn skannehastighed. Hvis støjkilden er intermitterende, skal det sikres, at målinger udføres over en hel periode/driftscyklus. Ellers kan det være mest hensigtsmæssigt at måle i de normale enkeltpositioner efter kassemetoden.

Ved beregning af kildestyrken benyttes formel (6.3.4) i Vejledning nr. 5/1993 [1], blot skal formlens energimiddelværdi af lydtrykniveauerne målt i de diskrete punkter erstattes af middelværdien af lydtrykniveauerne målt på skannemetodens flader eller linjer. Nærfeltkorrektionen  $E$  beregnes som normalt. Det samme gælder en eventuel omgivelseskorrektur  $K_i$  som indgår i formel (6.3.2) i [1].

Skannemetoden kan også benyttes til måling af kildestyrken af portåbninger, som er beskrevet i [1] afsnit 6.3.9, idet denne type måling kan beskrives som en kassemåling med kun én fri side. I modsætning til kassemetoden skannes der direkte i åbningsplanet (svarende til  $a = 0$ ) og kun i den øverste halvdel af åbningen. Ved udregning af kildestyrken benyttes dog hele åbningsareal og nærfeltkorrektionen  $E = 3$  dB.

## 6. Konklusion

På grundlag af undersøgelsen konkluderes, at kassemetoden beskrevet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993 [1] kan suppleres med en lignende metode, hvor de faste målepunkter erstattes med målinger med en mikrofon, der skannes over målefladen eller målelinjer i 2 højder.

Målinger foretaget med skannemetoden kan fremover benyttes på lige fod med målinger foretaget med den originale kassemetode. Usikkerheden ved skannemetoden er identisk med usikkerheden ved kassemetoden som er beskrevet i Referencelaboratoriets Orientering nr. 36.

## 7. Referencer

- [1] Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993: "Beregning af ekstern støj fra virksomheder".
- [2] Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984: "Måling af ekstern støj fra virksomheder".
- [3] ISO 9614-2: "Bestemmelse af lydeffekt fra støjkluder ved måling af lydintensitet. Del 2: Scanning-metode".