

Vejledning fra miljøstyrelsen

Måling af ekstern støj fra virksomheder

- Vejledning nr. 6/1984
- November 1984

**Måling af
ekstern støj
fra virksomheder**

Trykt på genbrugspapir

Genoptryk 1996: 400 ekspil.

ISBN: 87-503-5287-3

ISSN 0108-6375

Stougaard Jensen / Scantryk A/S,
København

Fu 00-30

Pris kr. 70,- inkl. 25% moms

FORORD

I forbindelse med miljøbeskyttelseslovens ikrafttræden den 1. oktober 1974 udsendte Miljøstyrelsen i begyndelsen af 1974 en række vejledninger, heriblandt Miljøstyrelsens vejledning nr. 3/1974 om ekstern støj fra virksomheder.

Vejledningen har siden miljøbeskyttelseslovens ikrafttræden været anvendt som administrationsgrundlag for såvel centrale som decentrale myndigheder. Vejledningen har endvidere været anvendt af rådgivende ingeniører og virksomheder i forbindelse med etablering af nye virksomheder og ved udvidelse eller ændring af eksisterende virksomheder.

På grundlag af de i den forløbne tid indhøstede erfaringer og som følge af den udvikling, der er sket på det måletekniske område, har Miljøstyrelsen nu fundet det hensigtsmæssigt at revidere vejledningen fra 1974. Man har samtidig fundet det hensigtsmæssigt at opdele vejledningen i to dele. Dette skyldes ikke mindst den udvikling, der er sket på det måletekniske område.

For at sikre den nødvendige kvalitet af støjmålinger og for at være i stand til at yde vejledning til miljø- og levnedsmiddel-laboratorier og til andre, der beskæftiger sig med støjmålinger, har Miljøstyrelsen 1. januar 1977 truffet aftale med Lydteknisk Institut under ATV om at varetage opgaven som Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger.

Det har på denne baggrund været naturligt at lade Referencelaboratoriet¹⁾ udarbejde den her foreliggende måletekniske vejledning, der er et supplement til den samtidigt udsendte vejledning nr. 5/1984 fra Miljøstyrelsen: Ekstern støj fra virksomheder. Den her foreliggende vejledning er især henvendt til de teknikere, som skal varetage støjmålinger, hvis resultater skal danne grundlag for afgørelser i henhold til miljøbeskyttelsesloven.

Miljøstyrelsen

1) DELTA Vibration & Akustik (Tidligere Lydteknisk Institut), bygning 356, Akademivej, 2800 Lyngby, tlf. (45) 93 12 11, Fax 45 93 19 90

INDHOLD

	Side
1. MÅLEINSTRUMENTER	6
1.1 Generelt	6
1.2 Specifikationer	6
1.3 Kalibrering	8
1.4 Instrumentkontrol	8
1.5 Overvågning	8
2. MÅLETIDSRUM OG MÅLEPROCEDURE	9
2.1 Betegnelser for tidsrum	9
2.2 Stationær støj	12
2.3 Intermitterende støj	12
2.4 Fluktuerende støj	14
3. MÅLEBETINGELSER	17
3.1 Baggrundsstøj generelt	17
3.2 Støj genereret af vind	18
3.3 Korrektion for baggrundsstøjens indflydelse	20
3.3.1 L _{Aeq}	21
3.3.2 L _{pAmax}	22
3.3.3 Eksempel	23
3.4 Meteorologiske forhold	26
3.5 Meteorologisk ramme	29
3.6 Måling af meteorologiske parametre	29
3.6.1 Vindhastighed	30
3.6.2 Vindretning	30
3.6.3 Temperaturgradient	31
4. MÅLERESULTATERS NØJAGTIGHED	34
4.1 Generelt	34
4.2 Instrumenter, kalibrering mv.	35
4.3 Varierende støjdsændelse	36
4.4 Varierende dæmpning under lydens udbredelse	36
4.5 Vurdering af måleresultatets nøjagtighed	39
4.5.1 En måling af L _{Aeq}	39
4.5.2 Flere målinger af L _{Aeq}	40
4.5.3 L _{Aeq} for flere driftstilstande	42
4.5.4 L _{pAmax}	43

	Side
5. MÅLEPOSITIONER UDENDØRS	44
5.1 Valg af målepositioner generelt	44
5.2 Bidrag fra refleksioner generelt	44
5.3 Fritfeltmåling	49
5.4 "+3 dB måling"	50
5.5 "+6 dB måling"	53
5.6 Komplekse refleksionsforhold	55
6. MÅLEPOSITIONER INDENDØRS	57
7. KORREKTION FOR INDHOLD AF TONER	58
7.1 Generelt	58
7.2 Objektiv målemetode for toner i støj	59
7.3 Ikke stationære forhold	63
8. KORREKTION FOR STØJENS VARIGHED	65
9. KORREKTION FOR EFTERKLANGSTID	67
9.1 Generelt	67
9.2 Måling af efterklangstid	69
9.3 Korrektionsprocedure	70
10. ADDITION AF STØJBIDRAG	70
11. RAPPORTERING - HUSKELISTE	73
12. SYMBOLLISTE	74
13. REFERENCER	77

1. MÅLEINSTRUMENTER

1.1 Generelt

Det skal altid angives i målerapporten, hvilke instrumenter der har været i brug ved dataindsamling og databehandling. Instrumenterne beskrives ved fabrikat, type nr. og identifikationsnr. Det angives, hvornår instrumentet senest er kontrolleret og/eller rekalkibreret.

Instrumentindstillinger, som har særlig betydning for måleresultaterne, skal beskrives i målerapporten, f.eks. tidsvægtning, samplingprocedure og programmering af digitalt udstyr etc.

Alle instrumenter skal betjenes efter de retningslinier, som er givet af fabrikanten.

1.2 Specifikationer

Lydtrykmålere skal opfylde kravene i IEC-publikation 179 eller IEC-651 (type I eller II). Det samme gælder eventuelle alternative systemers mikrofon, forstærker, filter og vægtningskredsløb.

Ved måling af maksimalværdien, L_{pAmax} , af det A-vægtede lydtryk niveau anvendes tidsvægtning FAST (F).

I tilfælde, hvor der foretages niveauskriverregistrering (jfr. afsnit 2.4), er det hensigtsmæssigt at anvende tidsvægtning FAST (F) for den samlede måleopstilling.

Ved skønsmæssig bestemmelse af det energiekvivalente, A-vægtede lydtryk niveau, L_{Aeq} , anvendes normalt tidsvægtning SLOW (S) (jfr. afsnit 2).

Der findes endnu ingen internationale standarder for integrerende måleinstrumenter. Indtil sådanne standarder foreligger, anerkendes resultater af målinger udført med kommercielt tilgængelige instrumenter under forudsætning af, at

- L_{Aeq} bestemmes ud fra definitionen udtrykt ved

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \quad [1.1]$$

idet $p_A(t)$ er øjebliksværdien af det A-vægtede lydtryk på tidspunktet t [Pa]

p_0 er referencelydtrykket = 20 μ Pa

t_1 og t_2 er henholdsvis start- og sluttidspunktet for måletidsrummet

eller ud fra eventuelle instrumentmæssige tilnærmelser til denne formel.

- Visningen af L_{Aeq} under referencebetingelser som defineret i IEC-651, afsnit 9.1 og 9.2.1, skal være korrekt med en tolerance på $\pm 0,7$ dB.
- A-vægtning og niveauområdeskift, følsomhed over for forskellige miljøpåvirkninger samt retningskarakteristik opfylder kravene opstillet herom i IEC-651 for type 1 instrumenter.

Andet måleudstyr, som f.eks. statistisk fordelingsanalysator, niveauskriver, båndoptager mv., kan anvendes i den udstrækning, signalbehandlingen foregår i overensstemmelse med de relevante afsnit i IEC-651 for lydtrykmålere af type 1 eller II.

Anvendes båndoptagelse som led i måleproceduren, bør frekvenslineariteten med indstillingen "linear", et eventuelt A-vægtningsfilter samt eventuelle attenuatorer overholde samme tolerancer som gældende for IEC-651 type 1 lydtrykmålere. Hvis dette ikke kan opnås, må der tages hensyn til de derved opståede øgede tolerancer ved vurderingen af måleresultaterne, jfr. afsnit 4.

Mikrofonen bør under måling altid være forsynet med vindskærm.

Det anbefales at anvende vindretnings- og vindhastighedsfølere koblet til en registrerende enhed, der muliggør bestemmelse af såvel middelvindretning som middelvindhastighed over på hinan-

den følgende 10 min. perioder. Den foretrukne placering af følerne er 10 m over terræn. Andre højder kan eventuelt anvendes, jfr. afsnit 3.6.

1.3 Kalibrering

Måleopstillingen skal kalibreres af brugeren i overensstemmelse med fabrikantens anvisninger i betjeningsvejledningen for hvert enkelt instrument.

Hele det akustiske målesystem skal kalibreres ved mindst én frekvens med passende mellemrum, som minimum ved begyndelse og afslutning af en måling.

1.4 Instrumentkontrol

Instrumenterne skal kontrolleres jævnligt efter de til enhver tid gældende retningslinier. Kontrollen skal give sporbar dokumentation for instrumenternes tilstand på tidspunktet for kontrollens udførelse. Nærmere oplysninger kan fås hos Miljøstyrelsen eller Referencelaboratoriet.

Lydtrykmålere og mikrofoner bør kontrolleres mindst én gang hvert andet år. Akustiske kalibratorer bør kontrolleres mindst én gang årligt.

1.5 Overvågning

Under målingerne bør det sikres, at signalernes vej gennem måleopstillingen er stabil samt fri for forvrængning og elektrisk støj.

I tilfælde, hvor ikke alle instrumenter i en måleopstilling er udstyret med overstyringsindikatorer, er det hensigtsmæssigt at anvende spidsværdiindisende instrumenter eller en anden form for indikation af overstyring af instrumenterne. Medhør - eventuelt ved hjælp af hovedtelefoner - vil på enkel vis kunne afsløre ustabile forbindelser, forvrængning samt elektrisk støj i måleopstillingen.

Hvis det er muligt at foretage båndoptagelse, er dette ønskeligt af dokumentationshensyn, også i tilfælde hvor båndoptagelsen ikke er nødvendig for den videre databehandling.

Anvendes undtagelsesvis en uovervåget, automatiseret måleopstilling, er en båndoptagelse nødvendig for identifikation af støjkilderne.

2. MÅLETIDSRUM OG MÅLEPROCEDURE

2.1 Betegnelser for tidsrum

Med henblik på at opnå en ensartet sprogbrug introduceres i dette afsnit nogle betegnelser for forskellige tidsrum. Betegnelserne er anvendt i overensstemmelse med principperne i [ISO 1996].

Der anvendes følgende hovedbegreber:

- **Referencetidsrum:** Det/de tidsrum, for hvilke(t) L_{Aeq} skal bestemmes i henhold til afsnit 2.2 i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984. For dagperioden drejer det sig om det mest støjbelastede 8 timer lange tidsrum mellem kl. 07 og kl. 18, for aftenperioden den mest støjbelastede time i tiden kl. 18-22, og for natperioden den mest støjbelastede halve time i tiden kl. 22-07.
- **Observationstidsrum:** Det/de tidsrum, i hvilke(t) støjen fra virksomheden overvåges.
- **Måletidsrum:** Det/de tidsrum, hvori dataindsamling (integration) foregår.

Såvel observationstidsrum som måletidsrum må ved enhver måleopgave vælges under hensyntagen til den konkrete situation. Dette behandles nærmere i afsnit 3 og 4.

I figur 2.1 er til illustration af betydningen af de omtalte begreber vist to (konstruerede) eksempler på det A-vægtede lydtrykkniveau $L_{pA}(t)$ som funktion af tiden t .

I figur 2.1.a betragtes $L_{pA}(t)$ i observationstidsrummet kl. 18-22. Referencetidsrummet er som nævnt i time. Det antages, at

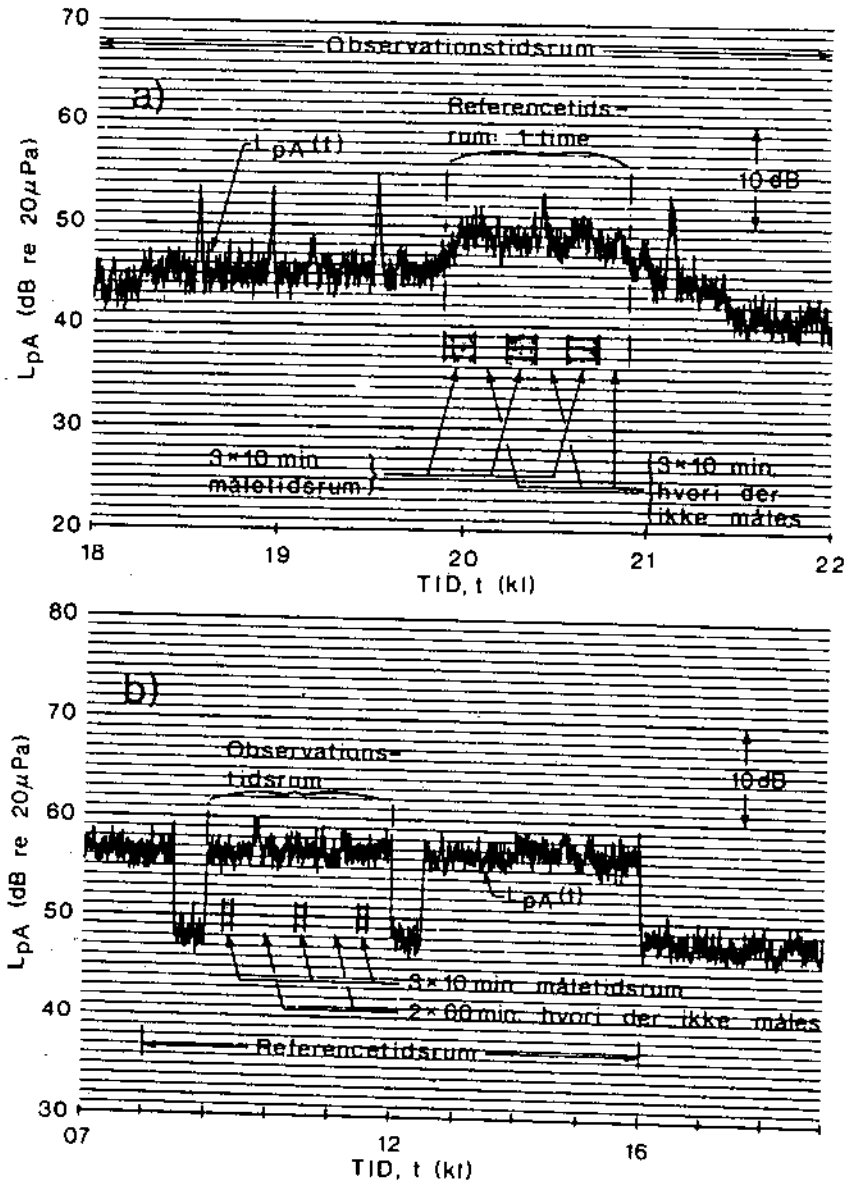
det i det konkrete tilfælde ikke på forhånd er klart, hvornår den mest støjbelastede time forekommer. Derfor foretages båndoptagelse af støjen i målepositionen i hele tidsrummet kl. 18-22. Figuren viser en niveauskriverregistrering af $L_{pA}(t)$ udskrevet enten direkte på målestedet eller i laboratoriet. På basis af denne registrering, eventuelt suppleret med målte værdier af L_{Aeq} pr. 10 min., udvælges timen kl. 19.55-20.55 som repræsenterende den mest støjbelastede time.

L_{Aeq} for referencetidsrummet kan bestemmes ved måling (integration) over hele tidsrummet kl. 19.55-20.55. Eventuelt kan L_{Aeq} bestemmes som vist på basis af stikprøver udtaget ved en såkaldt samplingprocedure, hvorved der f.eks. integreres over de viste tre 10 min. lange måletidsrum adskilt af 10 min. tidsrum, hvori der ikke måles. Sampling (stikprøveudtagning) er mest relevant ved måling over lange tidsrum samt i tilfælde, hvor man med samme udstyr ønsker at måle i flere målepositioner inden for samme observationstidsrum. Dette skal ikke omtales nærmere her, hvor formålet blot er at illustrere begrebernes principielle betydning.

I figur 2.1.b er tilsvarende vist $L_{pA}(t)$ tæt ved en virksomhed med næsten konstant støjudsendelse i tidsrummet kl. 07-16, kun afbrudt af frokost- og middagspause. Referencetidsrummet er de mest støjbelastede 8 timer. Da det på forhånd vides, at $L_{pA}(t)$ er nogenlunde konstant, kan observationstidsrummet begrænses til f.eks. ca. 3 timer placeret kl. 09-12. Inden for denne tid måles L_{Aeq} over 3 måletidsrum, hver af 10 min. varighed, adskilt af pauser på ca. 60 min., hvor der ikke måles i den betragtede måleposition. På basis af disse få og kortvarige observationer og med kendskab til driftstilstandens tidsmæssige variation kan L_{Aeq} for referencetidsrummet på 8 timer beregnes. Dette behandles mere indgående i afsnit 8 og 10.

Det ses af eksemplerne, at observationstidsrummet kan være såvel kortere som længere end referencetidsrummet.

Afhængigt af virksomhedens driftsforhold kan det være relevant at registrere støjudsendelsen over flere observationstidsrum, f.eks. på forskellige dage.



Figur 2.1 Illustration af betydningen af forskellige betegnelser for tidsrum, jfr. teksten.

I visse tilfælde anvendes betegnelsen (jfr. i øvrigt afsnit 8):

- Driftstidsrum: Den/de del(e) af et referencetidsrum, i hvilke(n) en given driftstilstand forekommer.

2.2 Stationær støj

Ved stationær støj forstås her støj, hvis A-vægtede lydtrykniveau kun varierer lidt som funktion af tiden. Det kan eksempelvis være støjen i et punkt i nærheden af et ventilationsanlæg, der kører konstant. Et eksempel på registrering af det A-vægtede lydtrykniveau $L_{pA}(t)$ som funktion af tiden for en stationær støj er givet i figur 2.2.

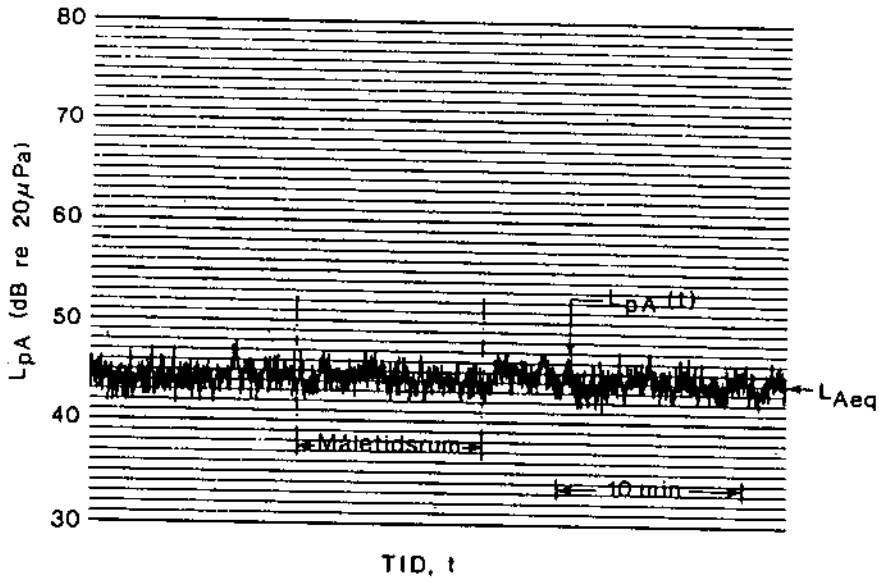
Konstateres det ved aflæsning af visेरudslaget på en lydtrykmåler (tidsvægtning SLOW (S)), at fluktuationerne af det A-vægtede lydtrykniveau er mindre end ± 2 å 3 dB omkring en middelværdi, kan L_{Aeq} med rimelig nøjagtighed skønnes som denne middelværdi af visेरudslaget.

Viserudslagets variation må iagttages i tilstrækkeligt lang tid i hver måleposition. Normalt bør måletidsrummet være på ca. 10 min. jfr. afsnit 4.3-4.4.

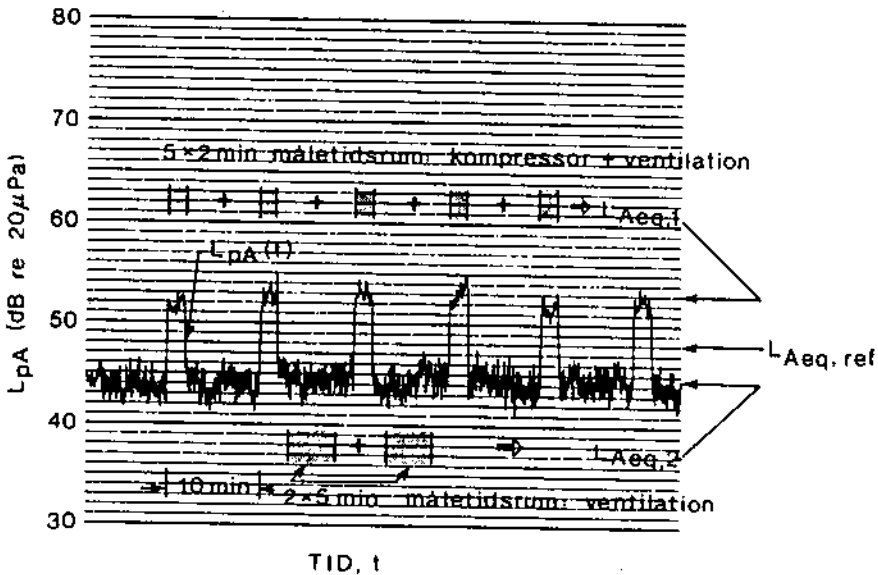
2.3 Intermitterende støj

Ved intermitterende støj forstås her støj, hvis A-vægtede lydtrykniveau med regelmæssige mellemrum antager forskellige, hver for sig stationære værdier svarende til forskellige drifttilstande for virksomheden. Som eksempel herpå kan nævnes støjen i nærheden af en kompressor, hvis drift styres af luftbehovet.

For intermitterende støj bestemmes L_{Aeq} som for stationær støj (afsnit 2.2) for hver drifttilstand, idet der anvendes et måletidsrum på ca. 10 min. for hver drifttilstand. I figur 2.3 er vist et (konstrueret) eksempel til illustration. En virksomheds støj udsendes af en kompressor samt et ventilationsanlæg. Kompressoren kører i 2 min. ca. hvert 10. min. L_{Aeq} af støjen fra kompressor og ventilationsanlæg, $L_{Aeq,1}$ bestemmes ved måling i de viste fem måletidsrum å 2 min.: $L_{Aeq,1} = 53$ dB re 20



Figur 2.2 Illustration af stationær støj.



Figur 2.3 Illustration af intermitterende støj.

μPa . L_{Aeq} af støjen fra ventilationsanlægget alene bestemmes ved måling i de viste to måletidsrum à 5 min.: $L_{\text{Aeq},2} = 44,5 \text{ dB}$ re 20 μPa .

2.4 Fluktuerende støj

Ved fluktuerende støj forstås her støj, hvis A-vægtede lydtryk-niveau varierer med mere end ± 2 à 3 dB (tidsvægtning SLOW (S)) samt tidsmæssigt på tilfældig måde. Fluktuationerne kan dels skyldes variationer i virksomhedens driftstilstand, og dels variationer i reduktionen af lydtrykniveauet under lydets udbredelse forårsaget af varierende meteorologiske forhold. Som et almindeligt forekommende eksempel på fluktuerende støj kan nævnes støjen fra trafik på en virksomheds areal.

Da det A-vægtede lydtrykniveau varierer mere end ± 2 à 3 dB (SLOW (S)), og da dets tidsmæssige variation er uregelmæssig, er det nødvendigt at bruge integrerende måleudstyr for at bestemme L_{Aeq} med rimelig nøjagtighed.

Når man skal beskrive støjen fra en virksomhed, er det hensigtsmæssigt at opdele virksomhedens driftsforhold i forskellige "tilstande". Opdelingen bør foretages, så virksomhedens støjudsendelse ved hver driftstilstand er konstant. Den nødvendige længde af måletidsrummet afhænger hovedsageligt af, hvor kompliceret virksomhedens driftstilstand er. Som omtalt i afsnit 4.4 vil der i løbet af ca. 10 min. være midlet over de hurtige, meteorologiske betingede fluktuationer af lydtrykniveauet.

Forudsætningen om "konstant støjudsendelse" indebærer, at eventuelle variationer af driftsforholdene må ske med periodetider af størrelsesordenen 1 min. eller mindre. Langsommere variationer bør i princippet behandles ved, at man beskriver flere forskellige driftstilstande, sådan at støjudsendelsen ved hver driftstilstand er rimeligt konstant. På basis af driftsstatistiske oplysninger og resultater af målinger af støjen fra hver driftstilstand kan man beregningsmæssigt fastlægge L_{Aeq} i hver måleposition på et forsvarligt grundlag. Forekommer i specielle

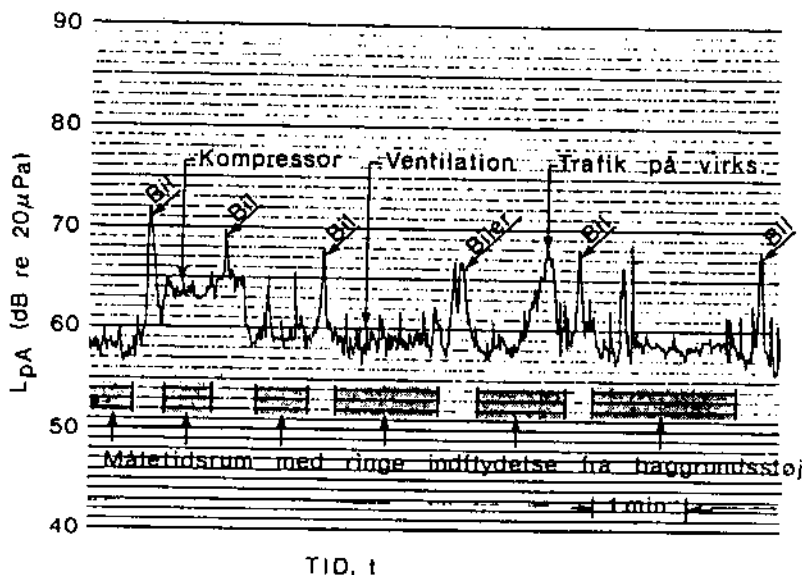
tilfælde periodisk varierende driftsforhold, bør man måle L_{Aeq} over eksakt én eller over flere end tre perioder.

I praksis er man ofte henvist til blot at gentage målingen over flere af de i afsnit 4.4 anbefalede 10 min. lange måletidsrum.

Store variationer (i forhold til standardafvigelserne angivet i afsnit 4.4) i de således målte værdier af $L_{Aeq,10 \text{ min}}$ indikerer, at opdelingen i driftstilstande er utilstrækkelig. Målingerne bør gentages mindst 3 å 5 gange, hver med 1-½ times mellemrum, inden for hvert observationstidsrum. I enkelte tilfælde vil en virksomheds driftsforhold være så komplicerede, at man på forhånd må opgive at definere et rimeligt antal driftstilstande med konstant støjudsændelse (f.eks. ved busterminaler, rangerbanegårde og lignende). I så fald er man henvist til at foretage kontinuert registrering af støjen over observationstidsrum af længden dage (hhv. aftener eller nætter) og i ekstreme tilfælde endog over flere sådanne observationstidsrum adskilt af mellemrum på mindst et døgn.

I situationer, hvor måleresultatet ikke påvirkes uacceptabelt af baggrundsstøj, kan L_{Aeq} -bestemmelsen (integrationen) uden problemer udføres direkte på målestedet. Eventuelt kan dataindsamlingen afbrydes i tidsrum med for kraftig baggrundsstøj, jfr. også afsnit 3.

I mere komplicerede tilfælde anbefales det at foretage en separat dataindsamling - ved registrering af støjsignalet på magnetbånd - og foretage databehandlingen (dvs. integrationen) i laboratoriet. Under dataindsamlingen observeres på målestedet, hvilke støjkilder der bidrager væsentligt til det A-vægtede lydtrykniveau i målepositionen. Disse informationer kan eksempelvis indtales på et særligt kommentarspor på magnetbåndet eller noteres på en niveauskriverregistrering, som foretages under dataindsamlingen. Ved databehandlingen kan integrationen foretages for tidsrum, hvor baggrundstøjen ikke har været uacceptabelt kraftig, jfr. illustrationen i figur 2.4.



Figur 2.4 Illustration af fluktuerende støj.

Ønskes ud over L_{Aeq} også den maksimale værdi, L_{pAmax} , af det A-vægtede lydtrykniveau bestemt, kan en niveauskriveregistrering eventuelt udnyttes direkte. Det må da nøje sikres, at hele måleopstillingens dynamiske karakteristisk svarer til tidsvægtningen FAST (F). Bestemmelsen af L_{pAmax} sker sikrest ved aflæsning af et meter med tidsvægtning FAST (F).

Ved at foretage observationer under dataindsamlingen kan man sikre, at kun maksimalværdier, som forekommer som følge af aktiviteter på virksomheden, indgår i måleresultatet. L_{pAmax} bør normalt bestemmes som den aritmetiske middelværdi $\overline{L_{pAmax}}$ af L_{pAmax} observeret ved mindst 5 forskellige forekomster af den driftstilstand, der giver anledning til L_{pAmax} , jfr. også afsnit 4.5.4.

3. MÅLEBETINGELSER

3.1 Baggrundsstøj generelt

Ved måling af ekstern støj fra en virksomhed registrerer mikrofonen samtidigt støjen fra virksomheden og støjen fra andre, uvedkommende støjkilder. Det måleresultat, man opnår, repræsenterer summen af støjen fra virksomheden og baggrundsstøjen. Denne sum kaldes her totalstøjen i målepositionen. De vejledende grænseværdier i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 omhandler udelukkende den pågældende virksomheds bidrag til totalstøjen. For at opnå et måleresultat, der kan sammenlignes med grænseværdierne, må resultatet af målingen (af totalstøjen) korrigeres for eventuel indflydelse fra baggrundstøjen. Dette forudsætter, at bidraget fra baggrundstøjen kan måles eller bestemmes på anden måde.

Målinger bør udføres, sådan at baggrundstøjens indflydelse på måleresultatet bliver mindst mulig, jfr. afsnit 3.3.

Baggrundstøjen er i almindelighed fluktuerende. Fluktuerende støj kan beskrives ved forskellige karakteristiske størrelser. Her vil blive anvendt dels det energiækvivalente, A-vægtede lydtrykniveau, $L_{Aeq,b}$, af baggrundstøjen. Endvidere benyttes den værdi, $L_{pA,95,b}$, som baggrundstøjens A-vægtede lydtrykniveau overskrider i 95% af det betragtede tidrum. $L_{pA,95,b}$ benyttes som mål for de lavest forekommende A-vægtede lydtrykniveauer i målepositionen, som de ville være, hvis virksomheden ikke var i drift.

I mange tilfælde kan baggrundstøjen registreres, mens den betragtede virksomhed er standset. Kan dette ikke lade sig gøre, må man forsøge at fremskaffe et skøn over baggrundstøjen i målepositionen på anden vis. I visse tilfælde kan man måle i et andet, repræsentativt punkt i nabolaget, hvor lydtrykniveauet af støjen fra virksomheden er væsentligt mindre end lydtrykniveauet af baggrundstøjen. Valget af et sådant punkt er vanskeligt. For at sikre, at baggrundstøjen er den samme i de to punkter, må der nemlig tages hensyn til en lang række forhold,

f.eks. afstandene til baggrundsstøjens kilder, den skjærmende virkning af bygninger og lignende, samt indflydelsen fra øvrige topografiske og meteorologiske forhold.

I særlige tilfælde kan man være henvist til at vurdere baggrundsstøjens indflydelse ud fra resultatet af en beregning, f. eks. af L_{Aeq} fra vejtrafikstøj [Nordisk, 1978]. Baggrundsstøj fra en anden virksomhed kan eventuelt vurderes på basis af resultatet af måling nær ved denne anden virksomhed, kombineret med en beregnet reduktion af lydtrykniveauet i større afstand [Kragh et al., 1982]. I situationer, hvor det ikke er muligt at korrigere for baggrundsstøjens indflydelse på måleresultatet, er man henvist til at beregne virksomhedens bidrag til totalstøjen. Støjen fra virksomheden måles da nær virksomheden, og beregningsmetoden i [Kragh et al., 1982] benyttes til at beregne støjen i de aktuelle punkter længere fra virksomheden.

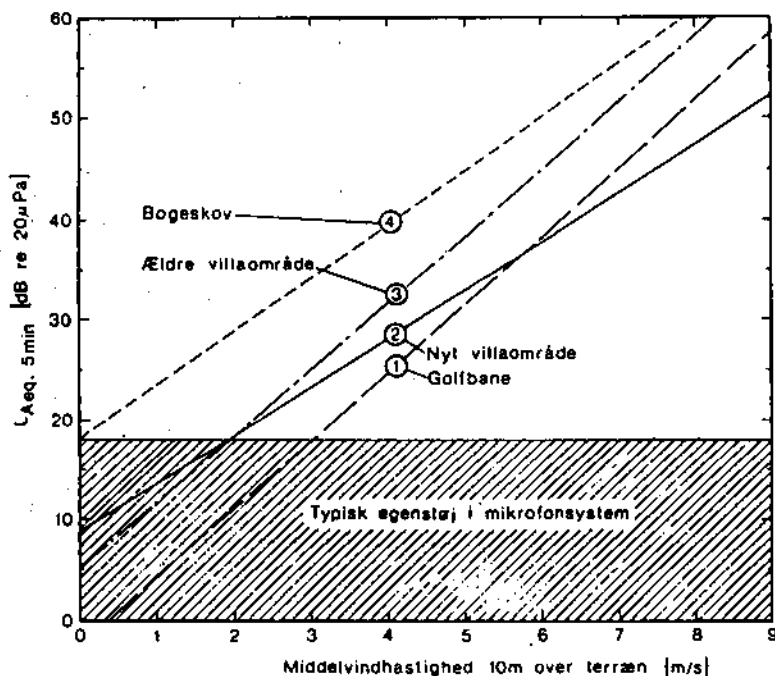
3.2 Støj genereret af vind

En speciel og meget vigtig kilde til baggrundsstøj er vinden. Dels skabes omkring selve mikrofonen og vindskærmen en vis støj, og dels giver vinden anledning til støj i form af raslen og susen i blade og anden vegetation mv. Denne støj er vanskelig at vurdere ved selve målingen. Medhør som nævnt i afsnit 1.5 er en hjælp til at konstatere, om der eventuelt er problemer med støj genereret af vind.

Lydteknisk Institut har gennemført en række målinger af vindstøjen [Jakobsen, 1983a] (såvel støjen fra vindens påvirkning af mikrofon og vindskærm som støjen fra raslende blade og lignende) i fire forskelligt bevoksede områder, fjernt fra andre kilder til baggrundsstøj. Vindstøjen blev målt med en mikrofon forsynet med standard vindskærm (skumkugle, 95 mm diameter) og anbragt 1,5 m over terræn. Samtidigt blev middelvindhastigheden 10 m over terræn målt i nærheden i et frit beliggende punkt. Vindstøjen blev integreret i 5 minutter og vindhastigheden midlet over samme tidsrum.

Resultatet af en statistisk behandling af måleresultaterne ses på figur 3.1. De fire områder var:

- 1) En åben og frit beliggende golfbane med tætklippet græs og langt til den nærmeste højere vegetation.
- 2) Et ca. 5 år gammelt villaområde med åben struktur. Spredt og sparsom bevoksning, ingen træer over ca. 4 m højde.
- 3) Et ca. 15 år gammelt villaområde med mange hakke. Tæt og velholdt bevoksning, flere træer op til ca. 8 m højde.
- 4) En bøgeskov med underbevoksning, træer op til ca. 15 m højde.



Figur 3.1 $L_{Aeq,5 \text{ min}}$ af vindstøj målt 1,5 m over terræn som funktion af middelvindhastigheden 10 m over terræn i fire forskelligt bevoksede områder. (Områdebeskrivelser: se teksten) [Jakobsen, 1983a]

Villaområderne var udvalgt som repræsentative for forskellige, typiske grader af bevoksning. Mens område 2 vurderes som repræsentativt for nyttilplantede områder, udstykninger og lignende, vil der utvivlsomt kunne findes kvarterer med tættere og/eller højere vegetation end område 3. Det kan derfor forventes, at lydtrykniveauet af vindstøjen i sådanne kvarterer vil være højere, end hvad der er fundet for område 3, men næppe højere end resultaterne fra område 4, skoven.

Figur 3.1 viser, at lydtrykniveauet af vindstøjen ved vindhastigheder under 2 m/s er af samme størrelse som egenstøjen i almindeligt anvendte mikrofonsystemer, på nær i områder med meget høj og tæt bevoksning. Vindstøjen tiltager jævnt med vindhastigheden. Stigningen er omkring 6 dB pr. m/s.

Den tidsmæssige variation og den frekvensmæssige sammensætning af vindstøjen er yderst forskellig i de fire typer af områder. I åbne, ubevoksede områder, hvor støjen fra vegetationen er ubetydelig, er vindstøjen meget lavfrekvent og udviser store, pludselige variationer fremkaldt af de enkelte vindstød. I bevoksede villaområder er støjen mere højfrekvent og har et noget jævner tidsmæssigt forløb. I skov er vindstøj omtrent lige kraftig i hvert 1/1 oktavbånd ("pink noise") og varierer kun lidt og yderst jævnt med tiden.

Oplysningerne i figur 3.1 bør ikke anvendes til at vurdere L_{Aeq} af vindstøjen med henblik på at korrigere for dens indflydelse på måleresultater. Derimod kan figuren anvendes til at afgøre, under hvilke vindforhold det er muligt at gennemføre støjmålinger. Således vil det eksempelvis være forbundet med vanskeligheder at kontrollere, hvorvidt et krav på $L_{Aeq} \leq 35$ dB re 20 μ Pa er overholdt i grænsen til et villaområde, hvis det blæser med en middelvindhastighed på 4 m/s.

3.3 Korrektion for baggrundsstøjens indflydelse

Det er hensigtsmæssigt at måle støjen fra en virksomhed i tidsrum, hvor baggrundsstøjens indflydelse på måleresultatet er lille. Denne situation forekommer oftest om natten, hvor tra-

fikken generelt er mindre, og hvor vindhastigheden som regel er mindre end om dagen.

Ofte stammer en del af baggrundsstøjen fra enkelte, særligt støjende begivenheder (f.eks. passage af fly, tog, lastbiler etc.). I sådanne tilfælde kan man eventuelt afbryde målingen, så længe baggrundsstøjen giver et utiladeligt stort bidrag til totalstøjen, jfr. også afsnit 2.4.

3.1 L_{Aeq}

Det forudsættes her, at følgende størrelser er bestemt:

$L_{Aeq,t}$ = L_{Aeq} af totalstøjen

$L_{Aeq,b}$ = L_{Aeq} af baggrundsstøjen

L_{Aeq} af støjen fra virksomheden, $L_{Aeq,v}$, bestemmes som følger:

- $L_{Aeq,t} - L_{Aeq,b} > 10$ dB: $L_{Aeq,v} = L_{Aeq,t}$

Den fejl, der begås ved at antage, at $L_{Aeq,v} = L_{Aeq,t}$ er mindre end 0,5 dB.

- $L_{Aeq,t} - L_{Aeq,b} < 3$ dB: Ny måling

$L_{Aeq,v}$ kan ikke bestemmes med rimelig nøjagtighed. Målingen må gentages i et tidsrum med mindre baggrundsstøj. Eventuelt må avancerede målemetoder eller kombineret måling og beregning tages i brug.

Er den målte værdi af $L_{Aeq,t}$ betydeligt mindre end en støjgrænse, hvis overholdelse skal kontrolleres, er det selvsagt oftest unødvendigt at gentage målingen.

- $3 \text{ dB} \leq L_{Aeq,t} - L_{Aeq,b} < 10$ dB:

$$L_{Aeq,v} = 10 \log \left\{ 10^{\frac{L_{Aeq,t}}{10}} - 10^{\frac{L_{Aeq,b}}{10}} \right\} \quad [3.1]$$

Eventuelt kan diagrammet i figur 3.2 bruges til bestemmelse af $L_{Aeq,v}$. Som indgangsparameter anvendes differensen $L_{Aeq,t} - L_{Aeq,b}$. Ved hjælp af diagrammet bestemmes en korrektion, som skal adderes til $L_{Aeq,t}$, hvorefter $L_{Aeq,v}$ er bestemt.

3.3.2 L_{pAmax}

Korrektion af resultater af måling af maksimalværdien L_{pAmax} af det A-vægtede lydtrykniveau sker principielt på samme måde som korrektion af L_{Aeq} .

En sådan korrektion er i praksis kun mulig at gennemføre på et sikkert grundlag i situationer, hvor baggrundsstøjen er stationær. Er baggrundsstøjen fluktuerende, kan man ofte gennemføre målingen af L_{pAmax} på et tidspunkt, hvor det vides, at baggrundsstøjens indflydelse på totalstøjen er så ringe, at der kan ses bort fra den.

Det antages, at følgende størrelser er bestemt:

$L_{pAmax,t}$ = L_{pAmax} af totalstøjen

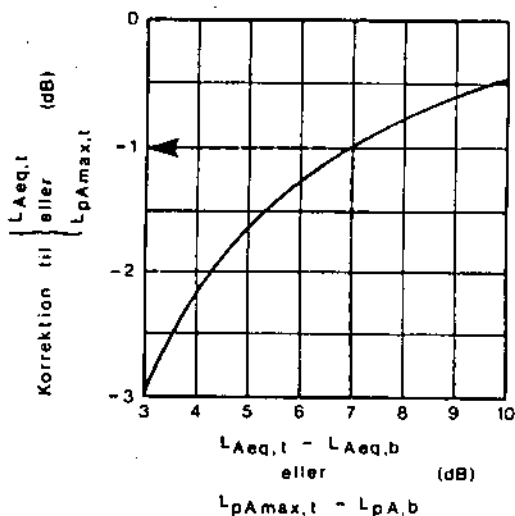
$L_{pA,b}$ = A-vægtet lydtrykniveau af baggrundsstøjen på det tidspunkt, hvor $L_{pAmax,t}$ forekommer.

Den søgte værdi af L_{pAmax} af støjen fra virksomheden bestemmes af udtrykket

$$L_{pAmax,v} = 10 \log \left\{ 10^{\frac{L_{pAmax,t}}{10}} - 10^{\frac{L_{pA,b}}{10}} \right\} \quad [3.2]$$

idet der tages de ovenfor under L_{Aeq} nævnte hensyn til forskellen mellem $L_{pAmax,t}$ og $L_{pA,b}$. Eventuelt kan diagrammet i figur 3.2 anvendes.

I tilfælde, hvor baggrundsstøjen er stationær, anvendes udtrykket eller diagrammet umiddelbart. Er baggrundsstøjen fluktuerende, hvilket ofte er tilfældet, må det sikres, at $L_{pAmax,t}$ rent faktisk skyldes støjen fra virksomheden og ikke baggrundsstøj (en forbikørsel, hundegøden eller lignende). Dette kan som regel sikres ved observationer foretaget under målingernes gennemførelse.



Figur 3.2 Korrektion for indflydelse af baggrundsstøj.

Eksempel:

$$L_{Aeq,t} = 61 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

$$L_{Aeq,b} = 54 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

$$L_{Aeq,t} - L_{Aeq,b} = 7 \text{ dB}$$

$$\text{Korrektion: } -1,0 \text{ dB}$$

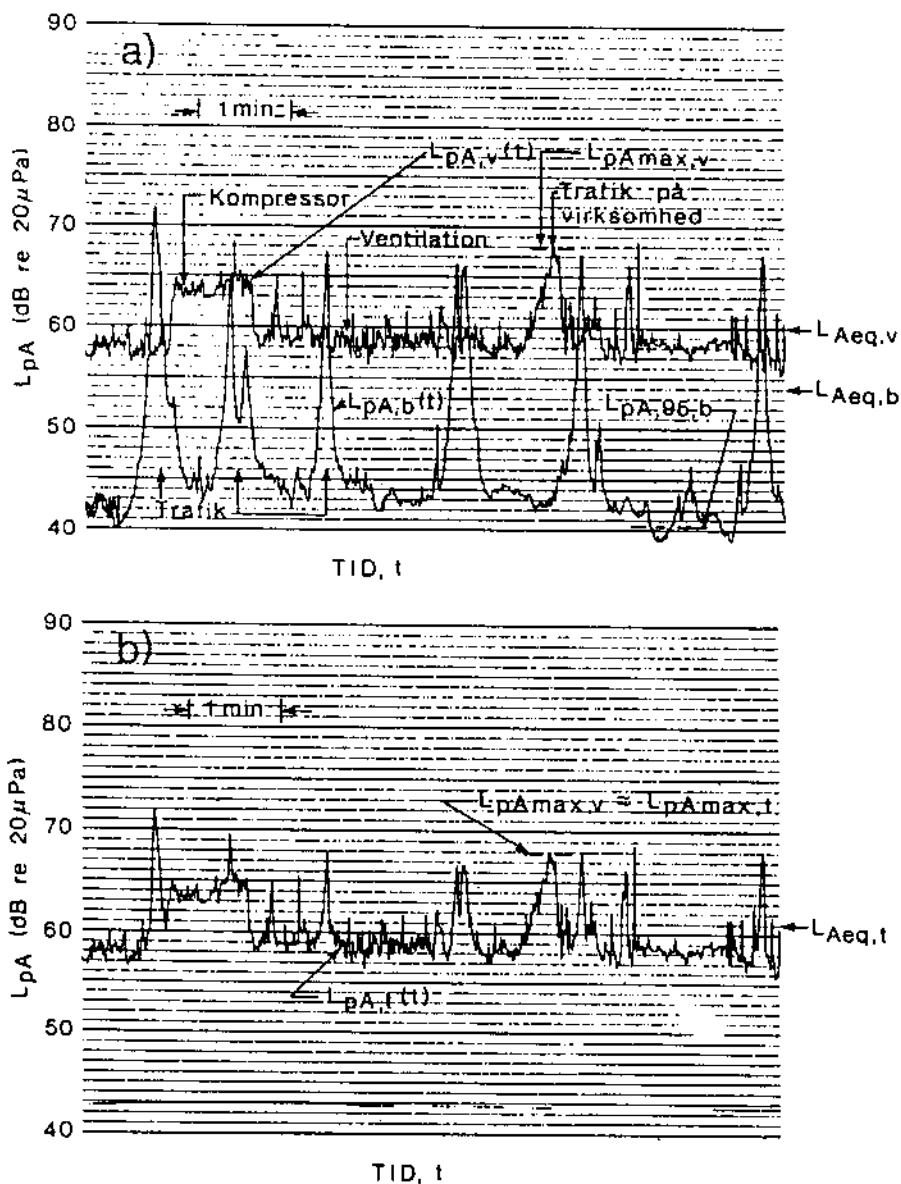
$$L_{Aeq,v} = L_{Aeq,t} + \text{korrektionen}$$

$$= 61 - 1,0 = 60 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Ved fluktuerende baggrundsstøj er det et problem at få bestemt $L_{pA,b}$ på netop det tidspunkt, hvor $L_{pAmax,t}$ forekommer. En sådan bestemmelse, der kun kan blive skønsmæssig, må baseres på observationer foretaget under målingen, eventuelt suppleret med iagttagelser og målinger i punkter i nabolaget.

3.3 Eksempel

I figur 3.3 er vist et konstrueret eksempel. Der er i figurens del a) vist det A-vægtede lydtrykniveau (bestemt med en integrationstid svarende til tidsvægtning FAST (F)) $L_{pA,v}(t)$ af



Figur 3.3 Eksempel til illustration af begreberne støj fra virksomheden, baggrundstøj samt totalstøj.

støjen fra en virksomhed, som funktion af tiden t . Støjen stammer blandt andet fra et ventilationsanlæg, som udsender en stationær støj. I målepositionen er L_{PA} fra ventilatoren 58-59 dB re 20 μ Pa. I en del af det betragtede tidsrum kører en kompressor på virksomheden. I dette tidsrum øges $L_{PA,v}$ til ca. 64 dB re 20 μ Pa. Hørimod slutningen af det betragtede tidsrum foregår der materialtransport på virksomhedens areal. På det tidspunkt, hvor køretøjet er nærmest målepositionen, registreres den højeste værdi af $L_{PA,v}(t)$, som forekommer inden for det betragtede tidsrum, $L_{PAmax,v} = \text{ca. } 68 \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$.

I målepositionen forekommer også baggrundsstøj i form af støj fra lokal trafik på en mindre vej samt almindelig uidentificerbar støj fra fjernere støjkilder. Baggrundsstøjen kan karakteriseres ved blandt andet $L_{Aeq,b}$, som i det viste eksempel er ca. 54 dB re 20 μ Pa. De lavest forekommende værdier af det A-vægtede lydtrykniveau af baggrundsstøjen karakteriseres ved $L_{PA,95,b}$, som er ca. 40 dB re 20 μ Pa.

Ved en måling i målepositionen vil man registrere den totale støj, hvis A-vægtede lydtrykniveau $L_{PA,t}(t)$ som funktion af tiden er illustreret i figur 3.3.b.

Det er muligt ved iagttagelser foretaget under registreringen af $L_{PA,t}(t)$ at konstatere, at $L_{PAmax,v}$ med rimelig tilnærmelse er lig med $L_{PAmax,t}$ på det tidspunkt, hvor $L_{PAmax,v}$ forekommer.

Virksomhedens bidrag $L_{Aeq,v}$ til støjbelastningen bestemmes i følgende 3 trin:

1. $L_{Aeq,t}$ bestemmes i laboratoriet på basis af registreringen af $L_{PA,t}(t)$. $L_{Aeq,t} = 61 \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$.
2. Ved måling af baggrundsstøjen i en anden måleposition med tilsvarende beliggenhed i forhold til vejen bestemmes derefter $L_{Aeq,b}$, som forudsættes også at repræsentere baggrundsstøjen i målepositionen ved virksomheden. Subsidiært beregnes på basis af trafikale og topografiske oplysninger $L_{Aeq,b} = 54 \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$.

3. Derefter bestemmes $L_{Aeq,v}$ enten ved hjælp af formeludtrykket [3.1] eller diagrammet figur 3.2:

$$L_{Aeq,v} = \left\{ \begin{array}{l} 10 \log \left(10^{\frac{61}{10}} - 10^{\frac{54}{10}} \right) \\ 61 - 1,0 \end{array} \right\} = 60 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

3.4 Meteorologiske forhold

Resultatet af en måling af støjen fra en virksomhed er i almindelighed stærkt påvirket af de meteorologiske forhold, der hersker under målingen. Virkningen på måleresultatet er større, jo større afstanden er mellem støjkilde og måleposition.

Hvis afstanden mellem støjkilde og måleposition er mindre end 25 m, er de meteorologiske forholds indflydelse på måleresultatet så lille, at det ikke er nødvendigt at stille krav til de meteorologiske forhold under målingen. Se dog afsnit 3.2 om støj genereret af vind.

En lidt speciel meteorologisk betingelse er snedækket terrænoverflade. Lydudbredelsen påvirkes så stærkt af snelaget, at resultater af målinger udført ved snedækket terrænoverflade normalt ikke bør benyttes ved bedømmelse af ekstern støj fra virksomheder.

De vigtigste meteorologiske faktorer er vindens retning samt vindhastighedens og temperaturens variation med højden over terræn (vindhastigheds- og temperaturgradienten).

De meteorologiske forholds indflydelse på lyds udbredelsesforhold har været genstand for omfattende undersøgelser i de senere år. Derved er der sket en vis afklaring. Det følgende repræsenterer de konklusioner, man indtil nu har draget af undersøgelserne.

Det er nødvendigt kort at ridsse de meteorologiske forholds principielle virkemåde op. Detaljerede oplysninger kan f.eks. findes i [Israelsson, 1979]. Her betragtes kun de vigtigste fæ-

nomener, som forekommer i lav højde (se principskitserne i figur 3.4).

Lydhastigheden øges med voksende temperatur. Dette bevirker, at lydbølgebånerne krummes opad, når temperaturen aftager med højden z (negativ temperaturgradient, $\Delta T/\Delta z < 0$). Lydbølgebånerne krummes nedad, når temperaturen øges med voksende højde z over terræn (positiv temperaturgradient, $\Delta T/\Delta z > 0$ = inversion).

Vindens hastighed u varierer med højden z . Ved terrænoverfladen er vindhastigheden lille. Vindhastigheden øges med voksende højde over terræn. Vindhastighedsprofilens udseende afhænger af terrænets ruhed. Forøgelsen af vindhastigheden bevirker en nedadadbjøining af lydbølgerne i medvind samt en opadadbjøining af lydbølgerne i modvind.

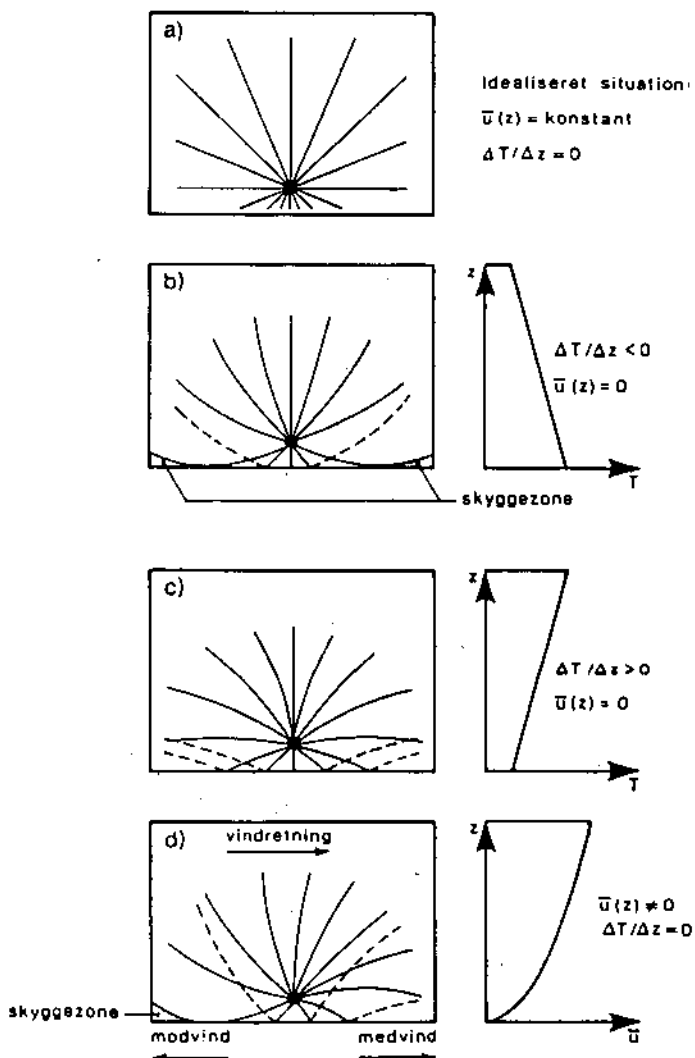
Krumningen af lydbølgebånerne påvirker lydtrykniveauet. Både terrænoverfladens og eventuelle skærmes virkning afhænger af krumningen. Vindhastighedsgradienten og temperaturgradienten optræder i varierende kombinationer. Dette komplicerer situationen meget i forhold til de enkle skitser, som er vist i figur 3.4.

Man har forsøgt at finde frem til så let observerbare meteorologiske betingelser som overhovedet muligt, som trods den forenkede beskrivelse af virkeligheden alligevel giver sikkerhed for at opnå rimeligt reproducerbare måleresultater.

Det har vist sig, at det er hensigtsmæssigt at kræve, at der skal være tale om en vis, men ikke for kraftig nedadadbjøining af lydbølgebånerne. De måleresultater, man opnår under sådanne forhold, repræsenterer hyppigt forekommende, høje værdier af lydtrykniveauet.

De betingelser, som må kræves overholdt for at sikre den omtalte nedadadbjøining af lydbølgebånerne, er:

- Middelvindretningen skal være fra støjkilde til måleposition (medvind) med en tilladt afvigelse på $\pm 45^\circ$.
- Middelvindhastigheden målt 10 m over terræn skal være mindre end 5 m/s.



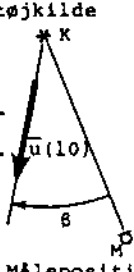
Figur 3.4 Principskitser, som illustrerer lydbølgernes udbredelse under forskellige meteorologiske forhold.

- Retlinet udbredelse
- Negativ temperaturgradient
- Positiv temperaturgradient
- Vindhastighedens indflydelse

- Ved middelvindhastigheder på 2-5 m/s kræves en temperaturgradient, målt mellem 0,5 m og 10 m over terræn, i intervallet $\pm 0,05^\circ\text{C/m}$.
- Ved middelvindhastigheder på mindre end 2 m/s (incl. vindstille) skal den tilsvarende temperaturgradient være mellem 0°C/m og $+0,05^\circ\text{C/m}$.

3.5 Meteorologisk ramme

De krav til de meteorologiske forhold, som er opstillet i afsnit 3.4, er resumeret i figur 3.5. Måling kan udføres, når kravene I eller II er opfyldt. Er afstanden mellem støjkilde og måleposition mindre end 25 m, stilles dog ingen krav til de meteorologiske forhold.

Parameter	Krav		Støjkilde 
	situation I	situation II	
$ \bar{u}(10) $ [m/s]	$2 \leq \bar{u}(10) \leq 5$	$0 \leq \bar{u}(10) < 2$	Middel- vind- hastig- heds- vektor
β [$^\circ$]	$-45 \leq \beta \leq 45$		
$\Delta T/\Delta z$ [$^\circ\text{C/m}$]	$-0,05 < \Delta T/\Delta z < 0,05$	$0 < \Delta T/\Delta z < 0,05$	

Figur 3.5 Meteorologisk ramme.

$|\bar{u}(10)|$ = middelvindhastighed 10 m over terræn
(længden af middelvindhastighedsvektoren)

β = middelvindretning rel. linien KM

$\Delta T/\Delta z$ = temperaturgradient, målt mellem 0,5 m og 10 m over terræn

3.6 Måling af meteorologiske parametre

For at sikre, at en støjmåling udføres under forhold, der er inden for den meteorologiske ramme, er det nødvendigt at registrere de meteorologiske forhold under støjmålingen. Der henvises til [Jakobsen, 1981] for oplysninger om måleudstyr mv.

De meteorologiske parametre bør måles på et repræsentativt sted i åbent terræn mellem støjkilden og målepositionen. De opstillede krav gælder middelværdier over 10 min. lange måletidsrum samtidigt med støjmålingen.

3.6.1 Vindhastighed

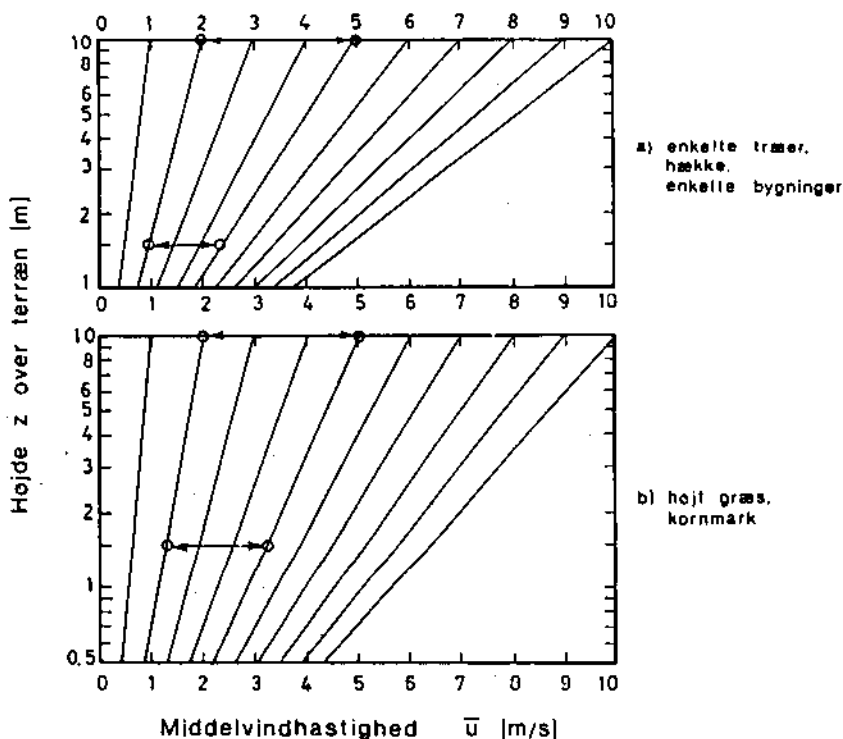
Vindhastigheden måles 10 m over terræn, hvis afstanden mellem støjkilde og måleposition er 200 m eller mere. Ved afstande under 200 m kan vindhastigheden 10 m over terræn skønnes på basis af måling af vindhastigheden i lavere højde. Hertil kan nomogrammerne i figur 3.6 anvendes.

Som udgangspunkt for nomogrammerne er valgt vindhastigheden 10 m over terræn. Det ses eksempelvis, at vindhastighedsintervallet 2-5 m/s 10 m over terræn svarer til intervallet 1,0 - 2,4 m/s i 1,5 m højde ved terrænoverflade type a) og til intervallet 1,3 - 3,2 m/s ved terrænoverflade type b). Nomogrammerne i figur 3.6 er gyldige for fladt, åbent land ved såkaldt neutral vertikal temperaturgradient, dvs. normalt ved en negativ temperaturgradient på ca. 1°C pr. 100 m. Denne situation optræder i overskyet vejr med et tykt lag af skyer. Der må advares mod at bruge nomogrammerne for situationer med store temperaturgradienter samt for andre typer af terrænoverflade end angivet i figuren.

3.6.2 Vindretning

Vindretningen bør fortrinsvis måles 10 m over terræn. Vindretningen kan med rimelig nøjagtighed vurderes på basis af en registrering i lavere højde, ned til 1,5 m, i tilfælde hvor der ikke findes større bygninger og lignende i nærheden af vindretningsfølere.

For udstrakte støjkilder må kildens akustiske centrum anvendes ved fastlæggelse af kravet til vindretningen. I tilfælde, hvor det er vanskeligt at definere støjkildens akustiske centrum, må der gennemføres en worst case vurdering.



Figur 3.6 Nomogrammer, som viser sammenhængen mellem vindhastighed og højde over terræn ved forskellige terrænoverflader. På figurerne er med pile illustreret vindhastighedsintervallet 2-5 m/s i 10 m højde og de tilsvarende vindhastighedsintervaller i 1,5 m højde. Efter [Larsson et al., 1980]

3.6.3 Temperaturgradient

Den temperaturgradient, som er relevant for udbredelsen af lyden fra en kilde placeret nær terræn, vurderes på basis af forskellen mellem temperaturen henholdsvis 10 m og 0,5 m over terræn.

Det er forbundet med store måletekniske problemer at udføre en tilstrækkelig præcis måling af temperaturgradienten. Derfor er

man i mange tilfælde henvist til at nøjes med at foretage en vurdering. I det følgende er givet vejledning til støtte for sådanne vurderinger.

Temperaturgradienten varierer med solindstrålingen. Denne er en funktion af solhøjden og skydækket.

Temperaturgradienten udviser i klart, stille vejr om sommeren en typisk døgnvariation med store negative værdier midt på dagen, meget små værdier omkring 1½ time efter solopgang og 1½ time før solnedgang og meget store positive værdier om natten.

Hvis det er tæt skyet, eller der er stærk blæst, er døgnvariationen mindre udpræget. De negative værdier midt på dagen og de positive værdier om natten er da numerisk mindre.

Om vinteren er temperaturgradienten positiv i en større del af døgnet end om sommeren. Der kan forekomme ekstremt store positive temperaturgradienter over snedækkede terrænoverflader. Dette er af mindre betydning i denne sammenhæng, fordi målinger ikke bør udføres, når terrænoverfladen er snedækket.

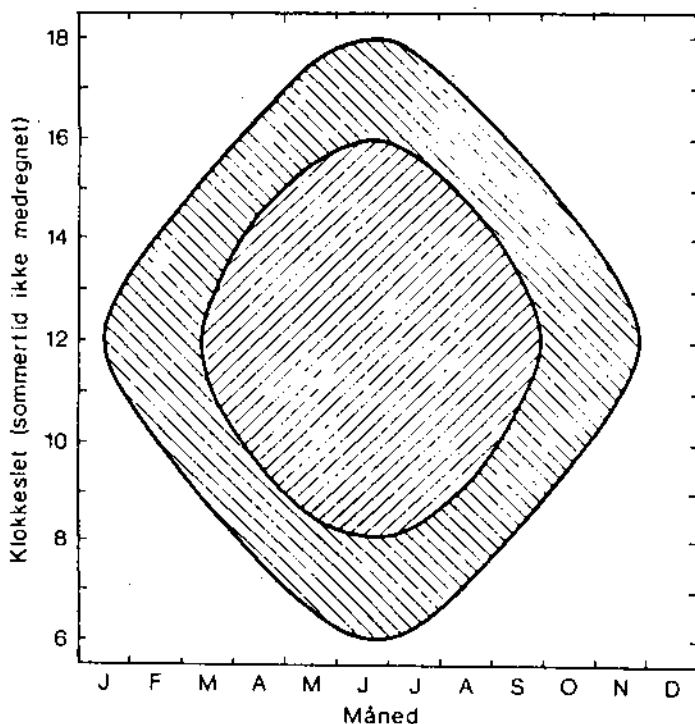
Temperaturgradientens størrelse kan skønnes på grundlag af observeret solhøjde og skydække. I figur 3.7 er givet en skematisk afgrænsning, som er gyldig under forudsætning af rimeligt jævnt og åbent terræn og en vindhastighed 10 m over terræn på 3 m/s (svag til let vind).

$\Delta T / \Delta z > -0,05^\circ\text{C/m}$ om dagen ¹⁾ kræver ved skydække 8/8, at solhøjden $< 30^\circ$ ved skydække 0-6/8, at solhøjden $< 15^\circ$
$\Delta T / \Delta z < 0,05^\circ\text{C/m}$ om natten ¹⁾ kræver at skydækket $> 4/8$




1) Mellem solopgang og solnedgang og vice versa.

Figur 3.7 Skematisk afgrænsning af forudsætninger for moderat temperaturgradient.

I figur 3.8 er på grundlag af solhøjdens døgn- og årstidsvariation optegnet de tidsrum, hvori temperaturgradienten kan forventes at være større end $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Det ses, at næsten hele dagen vil temperaturgradienten være under ("mere negativ end") $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ om sommeren, medmindre der er meget tætte skyer.



Figur 3.8 Sammenhæng mellem årstid, tidspunkt på dagen, skydække og temperaturgradient.

-  $\Delta T/\Delta z$ større end $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$, eventuelt positiv, uanset skydækket.
-  $\Delta T/\Delta z$ større end $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ved 6/8 skydække og derover, dvs. tæt skyet til overskyet.
-  $\Delta T/\Delta z$ kun større end $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$, når det er helt overskyet med tætte, tykke skyer.

Om vinteren er temperaturgradienten om dagen næsten altid større end $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$. I klart vejr kan den endog være positiv, i reglen mindre end $0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$. På vinternætter kræves mere end $4/8$ skydække, før temperaturgradienten er mindre end $0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

Hvis vindhastigheden 10 m over terræn er over 3 m/s og/eller terrænet er kraftigt kuperet (eller f.eks. bebygget), er temperaturgradientens numeriske værdi mindre end svarende til angivelserne i figur 3.7 og 3.8. Hvis derimod vindhastigheden er meget lav, kan temperaturgradienterne numerisk blive meget store, især om natten.

Under regn og efter regn er temperaturgradienten typisk meget lille.

4. MÅLERESULTATERS NØJAGTIGHED

4.1 Generelt

Ethvert måleresultat er behæftet med en vis usikkerhed. Det er vigtigt at vurdere, hvor stor denne usikkerhed er ved en konkret måleopgave, og at give oplysning herom i målerapporten. De følgende afsnit giver vejledning om denne vurdering.

Hvis man kunne måle støjen fra en virksomhed ved en given driftstilstand uendeligt mange gange i den samme måleposition, ville man kunne forvente, at måleresultaterne fordelte sig efter en såkaldt normal (Gaussisk) fordeling. En sådan fordeling beskrives ved sin middelværdi og standardafvigelse. Middelværdien ville være den "sande" værdi af støjen i målepositionen. Standardafvigelsen ville være et mål for, hvor store variationer der var fra måling til måling.

Når man i praksis udfører en støjmåling, tager man en "stikprøve" af støjen ved den aktuelle driftstilstand. I målerapporten skal man angive, hvor god overensstemmelse der er mellem måleresultatet og den sande værdi. Man kan forbedre denne overensstemmelse ved at tage flere stikprøver og bruge gennemsnits-

værdien af stikprøveresultaterne som estimat af den sande værdi.

Måleværdien betegner i det følgende resultatet af en enkelt måling eller gennemsnitsværdien af flere måleresultater. Omkring måleværdien kan man fastlægge et (konfidens)interval med en vis bredde. Den halve bredde af konfidensintervallet kaldes her ubestemtheden, δ . Den sande værdi findes med en vis sandsynlighed (konfidensgrad) inden for konfidensintervallet.

Ubestemtheden afhænger af standardafvigelsen σ , af antallet af måleresultater og af den valgte konfidensgrad. I afsnit 4.2-4.4 gives en vurdering af størrelsen af forskellige bidrag til σ . Fastsættelsen af ubestemtheden omtales i afsnit 4.5.

Standardafvigelsen σ betragtes i det følgende som i hovedsagen sammensat af to typer af bidrag, nemlig kildebetingede bidrag, σ_k , og meteorologisk betingede bidrag, σ_m . Der gælder da følgende sammenhæng:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_m^2} \quad [4.1]$$

I specielle tilfælde er både σ_k og σ_m så små, at måleinstrumenternes bidrag σ_i til σ bør medregnes. [4.1] bliver da:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_k^2 + \sigma_m^2} \quad [4.1.a]$$

4.2 Instrumenter, kalibrering mv.

Rent instrumentmæssige forhold, kalibrering mv. giver i sig selv et vist bidrag til usikkerheden på måleresultatet. Under forudsætning af, at instrumenterne er behandlet forskriftsmæssigt, herunder kontrolleret og kalibreret, er dette bidrag oftest af mindre betydning. Man må generelt aldrig forvente at kunne bestemme den absolutte værdi af det A-vægtede lydtrykniveau mere nøjagtigt end svarende til en standardafvigelse $\sigma_i = 0,25-0,5$ dB.

4.3 Variierende støjdsændelse

Som allerede nævnt i afsnit 2.4 bør man karakterisere støjdsændelsen fra en virksomhed ved resultater af målinger ved forskellige driftstilstande, der hver for sig giver anledning til konstant støjdsændelse. Ideelt bør bidraget σ_k - som følge af variationer i kildens støjdsændelse - til den resulterende værdi af σ altså være ubetydeligt.

I praksis vil der ofte være tale om en vis større eller mindre tidsmæssig variation i støjdsændelsen. Undertiden kan σ_k vurderes på grundlag af kendskab til støjkildernes egenskaber. I andre tilfælde må σ_k vurderes på basis af resultater af mindst 3 uafhængige målinger i kort afstand fra virksomheden, hvor de meteorologisk betingede spredningsbidrag er små ($\sigma_m = 0$). Værdien af σ_k estimeres da ved størrelsen s_k :

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N L_{Aeq,i}^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N L_{Aeq,i} \right)^2 \right]} \quad [4.2]$$

hvor N er antallet af målinger og $L_{Aeq,i}$ er resultatet af måling nr. i . Beregning af standardafvigelser og middelværdier udføres med fordel ved brug af en lommeregner med indbyggede standard statistikprogrammer.

Måleresultater bør for at kunne anses for at være statistisk uafhængige i reglen indsamles med mindst et døgn mellemrum. I tilfælde, hvor fluktuationer i støjdsændelsen forekommer mange gange i løbet af en time, kan målingerne gentages med tidsmellemrum ned til en time. Måletidsrummet bør som hovedregel være 10 minutter ved hver måling.

4.4 Variierende dæmpning under lydets udbredelse

Variationer i lydtrykniveauets reduktion under udbredelsen giver et væsentligt bidrag til måleusikkerheden. Dette delbidrag til σ som følge af meteorologiske forholds indflydelse betegnes σ_m .

Et foreløbigt resultat af de seneste års undersøgelser [Larsson, 1980], [Lindblad, 1979], [Eriksson, 1979] kan konkluderes i følgende:

Der forekommer fluktuationer i lydtrykniveauet i en måleposition som følge af turbulensfænomener i luften langs lydens transmissionsvej. Fluktuationerne forekommer, selv om virksomheden udsender stationær støj. Periodetiden for fluktuationerne er typisk af størrelsesordenen 1 min. For at minimere spredningsbidraget fra disse hurtige fluktuationer, er det nødvendigt at midle (integre) over mere end ca. 4 min. Det anbefales at midle over måletidsrum af 10 min. varighed.

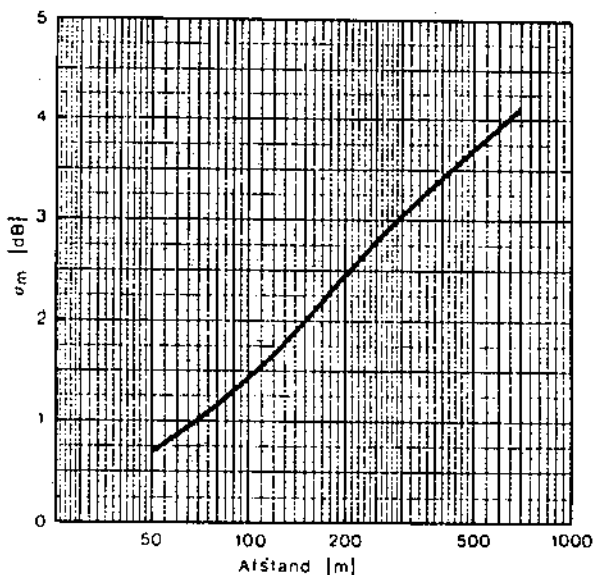
Ved opstillingen af den ramme for de meteorologiske forhold, som er gengivet i afsnit 3.5, har man opnået at afgrænse nogle lydudbredelsesmæssigt stabile vejrforhold. Herved begrænses måleresultaternes variation.

I figur 4.1 er givet nogle vejledende værdier af σ_m som funktion af afstanden mellem støjkilde og måleposition. Værdien af σ_m øges med voksende afstand.

Kurven, som gælder for $L_{\text{Aeq}, 10 \text{ min.}}$, er fastlagt på grundlag af resultater af 1/1 oktavbåndmålinger af støjen fra en lydkilde 1,25 - 1,5 m over terræn med mikrofonhøjde 1,25 - 1,5 m over terræn [Larsson, 1980], [Storeheier, 1981]. Lydudbredelsen skete over en græsbevokset terrænoverflade.

Vejrforholdene under målingerne var inden for den meteorologiske ramme fra afsnit 3.5. Ændringer i de meteorologiske forhold giver i en sådan situation store ændringer i terrænets indflydelse på lydudbredelsen. De angivne σ_m -værdier repræsenterer et rimeligt "worst case" med "ugunstige" lydudbredelsesforhold set fra et reproducerbarhedssynspunkt: lav støjkilde, lav måleposition og porøs terrænoverflade. I 1/1 oktaven med centerfrekvens 500 Hz konstateredes væsentligt større værdier af σ_m . Dette "worst case" omfatter også situationer med skærmning og med "delvis" skærmning. Hermed menes, at en udstrakt støjkilde er delvist skærmet, eller at de krumme lydbølgebåner

fra en støjkilde [Kragh, 1982 og 1983] passerer skærmen omkring dens top. I så fald vil variationer i de meteorologiske forhold - selv inden for den meteorologiske ramme fra afsnit 3.5 - kunne give store variationer i støjen i målepositionen.



Figur 4.1 Vejledende angivelse af q_m som funktion af afstanden mellem støjkilde og måleposition.

Ved måling af L_{Aeq} af bredbåndet støj fra højt placerede kilder kan man forvente, at q_m er betydeligt mindre end angivet i figur 4.1. Det samme gælder målepositioner i stor højde samt situationer med lydudbredelse over hårdt og kombineret hårdt og porøst terræn.

Under sådanne "gunstige" lydudbredelsesforhold, set fra et reproducerbarhedssynspunkt, kan man forvente q_m -værdier, som er af størrelsesordenen det halve af værdierne i figur 4.1 [Storeheier, 1981 og 1982], [Jakobsen et al., 1983b], [Carlsen, 1983].

De vejledende q_m -værdier kan bruges ved grove vurderinger af q_m , og dermed σ , i situationer, hvor man kun gennemfører én en-

kelt måling. Ønskes en sikrere vurdering, må man udføre gentagne målinger, jfr. afsnit 4.5.2. Det anbefales så vidt muligt at udføre gentagne målinger.

Figur 4.1 er baseret på resultater af målinger af stationær støj. Den kan derfor ikke umiddelbart bruges til at vurdere om for kortvarige støjbegivenheder (slaglyde, støj fra skydevåben). Ubestemtheden på resultater af sådanne målinger må i stedet vurderes som angivet i afsnit 4.5.4.

4.5 Vurdering af måleresultaters nøjagtighed

Der skelnes i det følgende mellem situationer, hvor man på basis af et enkelt måleresultat ønsker at vurdere, om en given støjgrænse er overholdt eller overskredet, samt situationer, hvor vurderingen baseres på resultaterne af flere målinger.

I afsnittene 4.5.1 og 4.5.2 forudsættes L_{Aeq} af støjen fra en virksomhed bestemt af støjudsendelsen ved en enkelt driftstilstand. I afsnit 4.5.3 omtales kort fastsættelsen af ubestemtheden på en værdi af L_{Aeq} fremkommet ved addition af bidrag fra forskellige driftstilstande.

Vurderingen af nøjagtigheden af resultater af måling af L_{pAmax} omtales i afsnit 4.5.4.

4.5.1 En måling af L_{Aeq}

Ønskes på grundlag af resultatet af én enkelt måling af 10 min. varighed under vejrforhold inden for den meteorologiske ramme fra afsnit 3.5 foretaget en vurdering af, om en given støjgrænse er overholdt eller overskredet, kan man gå frem på følgende måde. Måleværdien er $L_{Aeq,0}$, og ubestemtheden $\delta = \sigma \cdot 1,7$, hvor σ er standardafvigelsen bestemt på basis af formel [4.1], afsnit 4.3 og afsnit 4.4.

- Hvis $L_{Aeq,0} + \sigma \cdot 1,7 \leq$ støjgrænsen, er støjgrænsen med 95% sandsynlighed eller mere overholdt.

[4.3]

- Hvis $L_{Aeq,0} - \sigma \cdot 1,7 \geq$ støjgrænsen, er støjgrænsen med 95% sandsynlighed eller mere overskredet.

I tilfælde, hvor σ er for stor til, at en vurdering af denne karakter findes tilstrækkelig, må der foretages gentagne målinger. Dette vil forekomme i situationer, hvor der ikke er tale om en meget klar forskel mellem måleværdi og støjgrænse.

Eksempel a

En 10 min. lang måling af L_{Aeq} 200 m fra en lavt placeret støjkilde gav $L_{Aeq,0} = 45,3$ dB re 20 μ Pa.

Det instrumentbetingede spredningsbidrag, $\sigma_i = 0,5$ dB, var uden betydning.

Kilden vurderes som stationær, $\sigma_k \leq 1$ dB

Af figur 4.1 ses, at $\sigma_m = 2,5$ dB

Resulterende fås af [4.1]

$$\sigma \leq \sqrt{1,0^2 + 2,5^2} = 2,7 \text{ dB}$$

Idet $L_{Aeq,0} + \sigma \cdot 1,7 = 45,3 + 2,7 \cdot 1,7 = 49,9 < 50$ dB re 20 μ Pa, kan støjgrænsen 50 dB re 20 μ Pa med mere end 95% sandsynlighed anses for overholdt.

Idet $L_{Aeq,0} - \sigma \cdot 1,7 = 45,3 - 2,7 \cdot 1,7 = 40,7 > 40$ dB re 20 μ Pa, kan støjgrænsen 40 dB re 20 μ Pa med mere end 95% sandsynlighed anses for overskredet.

4.5.2 Flere målinger af L_{Aeq}

Foreligger resultaterne af N statistisk uafhængige observationer $(L_{Aeq,0})_i$, $i = 1 \dots N$, af L_{Aeq} af støjen fra en virksom-

hed (ved en given driftstilstand), anvendes den i det følgende skitserede vurderingsmetode. For at opnå, at måleresultaterne er statistisk uafhængige, bør de i reglen indsamles med mindst et døgn mellemrum. Konstaterer man under overvågning af målingerne, at der inden for observationstidsrummet optræder tydeligt skift i vejrliget (middelvindretning, -hastighed, skydække mv.), kan man undtagelsesvis indsamle mere end ét måleresultat i hver måleposition inden for samme døgn.

Middelværdien m (på energibasis) af måleresultaterne beregnes ved hjælp af udtrykket:

$$m = 10 \log \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq,o})_i}{10}} \right\} \quad [4.4]$$

Hvis forskellen mellem det største og det mindste måleresultat er mindre end 5 dB, kan m med tilstrækkelig nøjagtighed beregnes som den aritmetiske middelværdi:

$$m \approx \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (L_{Aeq,o})_i \quad [4.4.a]$$

Standardafvigelsen σ estimeres ved størrelsen s beregnet på grundlag af måleresultaterne:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{i=1}^N (L_{Aeq,o})_i^2 - \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (L_{Aeq,o})_i \right]^2 \right\}} \quad [4.5]$$

Vurderingen gennemføres som angivet i udtrykkene [4.7], idet ubestemtheden δ på middelværdien beregnes som:

$$\delta = s \cdot \frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}} \quad [4.6]$$

- Hvis $m + s \cdot t_{N-1}/\sqrt{N} < \text{støjgrænsen}$, er støjgrænsen med 95% sandsynlighed eller mere overholdt.
- Hvis $m - s \cdot t_{N-1}/\sqrt{N} < \text{støjgrænsen}$, er støjgrænsen med 95% sandsynlighed eller mere overskredet.

[4.7]

Størrelsen t_{N-1} er gengivet i tabel 4.1 for forskellige værdier af N , sammen med forholdet t_{N-1}/\sqrt{N} .

N	2	3	4	5	6	$7 \leq N \leq 9$	$10 \leq N \leq 15$	≥ 16
t_{N-1}	6,3	2,9	2,4	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7
$\frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}}$	4,5	1,7	1,2	0,95	0,82	$0,73 \geq \frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}} \geq 0,62$	$0,58 \geq \frac{t_{N-1}}{\sqrt{N}} \geq 0,45$	$\frac{1,7}{\sqrt{N}}$

Tabel 4.1 Udvalgte værdier fra Student's t-fordeling svarende til 90% konfidensinterval. Bruges værdierne ved ensidet test opnås 95% konfidensgrad.

Eksempel b

Tænkes i samme situation som i eksempel a udført 3 uafhængige målinger med følgende resultater. $L_{Aeq,10 \text{ min.}}$ = hhv. 45,3, 48,1 og 47,7 dB re 20 μPa , fås $m = 47,2$ dB re 20 μPa og $s = 1,51$ dB. Af tabel 4.1 fås $t_{N-1}/\sqrt{N} = 1,7$.

Idet $m + s \cdot t_{N-1}/\sqrt{N} = 47,2 + 1,51 \cdot 1,7 = 49,8$ dB re 20 μPa , kan støjgrænsen 50 dB re 20 μPa med mere end 95% sandsynlighed anses for overholdt.

Idet $m - s \cdot t_{N-1}/\sqrt{N} = 47,2 - 1,51 \cdot 1,7 = 44,6$ dB re 20 μPa , kan støjgrænsen 45 dB re 20 μPa med lidt mindre end 95% sandsynlighed anses for overskredet.

4.5.3 L_{Aeq} for flere driftstilstande

I situationer, hvor L_{Aeq} for et referencetidsrum af støjen fra en virksomhed bestemmes ved addition (jfr. afsnit 10) af bidrag

fra forskellige driftstilstande, er fastsættelsen af værdien af σ mere vanskelig.

Værdien af σ kan i sådanne tilfælde "meget på den sikre side" sættes lig med σ for den af driftstilstandene, hvis bidrag er mest usikkert bestemt. I visse tilfælde vil det være hensigtsmæssigt at gennemføre en vægtning af ubestemthederne på de indgående L_{Aeq} -bidrag. Ved denne vægtning bør der tages hensyn til såvel varigheden af hver driftstilstand som størrelsen af hvert L_{Aeq} -bidrag. Dette er detaljeret omtalt i [Eriksson, 1981], [SNV, 1984], hvortil der henvises.

4.5.4 L_{pAmax}

L_{pAmax} bør bestemmes som den aritmetiske middelværdi ($\overline{L_{pAmax}}$) af resultater af målinger udført ved mindst fem forekomster af den driftstilstand, der giver anledning til L_{pAmax} . Disse målinger bør gennemføres med mindst 2 min. mellemrum. Eksempelvis bør tømning af containere på forskellige steder på en virksomheds areal principielt betragtes som forskellige driftstilstande.

Nøjagtigheden af L_{pAmax} kan i almindelighed ikke vurderes, hvis man alene måler ved fem forekomster af den betragtede driftstilstand.

I tilfælde, hvor en sådan vurdering ønskes, kan man gennemføre et antal statistisk uafhængige målinger - i N grupper à 5 målinger. En vurdering kan derpå gennemføres på følgende måde. Først bestemmes middelværdien ($\overline{L_{pAmax}}_k$) pr. gruppe nr. k af målinger:

$$(\overline{L_{pAmax}})_k = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (L_{pAmax})_i \quad (4.8)$$

Derpå bestemmes middelværdien og et estimat af standardafvigelsen for de N middelværdier ($\overline{L_{pAmax}}_k$) ($k = 1 \dots N$) under anven-

delse af udtryk analogt med [4.8] og [4.5]. Måleresultatet vurderes endelig som angivet ved udtrykkene [4.7].

5. MÅLEPOSITIONER UDENDØRS

5.1 Valg af målepositioner generelt

De forhold, som set fra et administrativt synspunkt bør lægges til grund for valget af målepositioner, er behandlet i afsnit 7.1 i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984, hvortil der henvises.

Der skal måles i de punkter omkring en virksomhed, hvor det er mest sandsynligt, at fastsatte støjgrænser eller vejledende grænseværdier er overskredet. Det er måleteknikarens opgave at udvælge disse punkter.

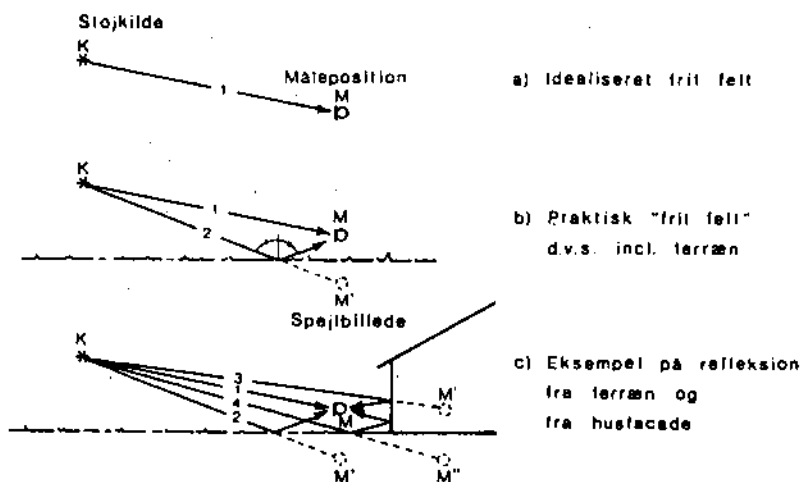
Det A-vægtede lydtrykkniveau øges med voksende højde af målepositionen over terræn. Dette er særligt udtalt, når der forekommer skærmning langs støjens transmissionsvej fra kilde til måleposition.

Målingerne bør i almindelighed udføres 1,5 m over terrænoverfladen. Ved kontrolmålinger måles selvsagt i de højder, som er specificeret i de konkrete vilkår eller påbud. I klagesager bør mindst én måleposition vælges ved klagerens bolig. Dette kan ved etageboliger indebære valg af målepositioner i større højde end 1,5 m over terrænoverfladen.

I det følgende gives nogle retningslinier for, hvordan man bør placere målepositionen i forhold til lydreflekterende flader for at opnå veldefinerede måleresultater.

5.2 Bidrag fra refleksioner generelt

Lydtrykket i målepositionen opbygges som summen af lydtrykkene i lydbølger, som ankommer til målepositionen ad forskellige veje. Dette er illustreret i figurerna 5.1 og 5.2.



Figur 5.1 Illustration af transmissionsveje. Lodret snit.

- 1: Direkte
- 2: Via refleksion fra terræn
- 3: Via refleksion fra bygningsfacade
- 4: Via refleksion fra terræn og bygningsfacade

I figur 5.1 er dels vist

- a) en teoretisk situation: ideelt frit felt. Der eksisterer kun én transmissionsvej: direkte fra kilde til måleposition.

Endvidere er vist

- b) det, som i denne vejledning er benævnt "frit felt". Til målepositionen ankommer - ud over den direkte transmitterede lydenergi - et refleksionsbidrag fra terrænoverfladen. Transmissionsvej 2 er karakteriseret ved, at vinklen mellem normalen til terrænoverfladen og henholdsvis den indfaldende og den reflekterede lydbølges bane er lige store. Bidrag fra refleksioner kan betragtes som bidrag der kommer fra støjkilden til fiktive målepositioner (M' og M''), som er målepositionens spejlbilleder i de reflekterende flader.

I figur 5.1 er endelig vist

- c) de transmissionsveje, 3 og 4, som yderligere findes mellem kilde og måleposition, når der nær målepositionen findes en lodret, lydreflekterende flade, f.eks. en bygningsfacade.

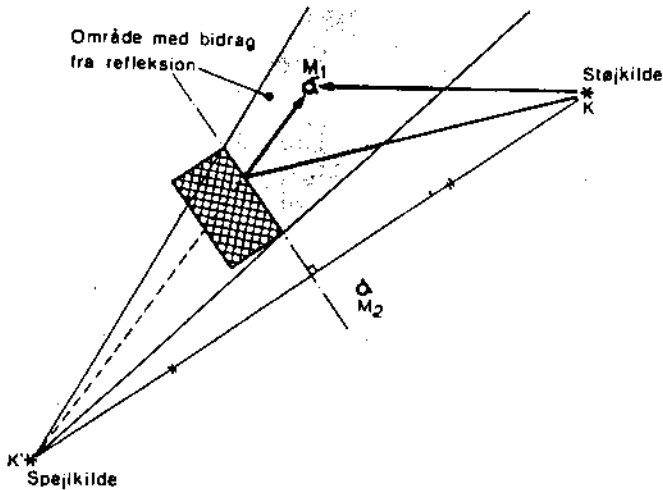
Grænseværdierne i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 er opstillet under den forudsætning, at der til bidraget fra den direkte transmitterede lyd alene adderer sig bidrag fra refleksioner fra terrænoverfladen og eventuelt fra flader på bygninger og lignende på virksomhedens areal (disse sidstnævnte er af overskuelighedsgrunde ikke medtaget i figur 5.1).

Lydenergi, som transmitteres til målepositionen via refleksioner fra bygningsfacader og lignende nær målepositionen, betragtes som uvedkommende i forbindelse med måling af den støj, der udsendes fra kilden. Måling af ekstern støj fra virksomheder bør derfor så vidt muligt udføres som fritfeltsmålinger. I tilfælde, hvor dette ikke kan lade sig gøre, må målingerne udføres under sådanne omstændigheder, at det er muligt at korrigere for indflydelsen fra uvedkommende refleksionsbidrag. I nogle tilfælde er en sådan korrektion ikke mulig, f.eks. ved måling i en måleposition i et gårdrum, hvortil en virksomhed udsender støj, jfr. afsnit 5.6.

Indflydelsen fra refleksionsbidrag er vanskelig at vurdere, idet der er tale om en kompleks samvirken af mange faktorer: støjens frekvens, båndbredde og indfaldsvinkel, størrelsen af og afstanden til reflekterende flader mv. Retningslinierne i det følgende er opstillet med henblik på at sikre, at bidrag fra refleksioner ikke påfører måleresultatet fejl på mere end 1 dB. Retningslinierne er givet dels i form af krav udledt ved "teoretiske" analyser af idealiserede situationer, dels i form af praktiske håndregler.

Der skelnes mellem måling i henholdsvis "frit felt", i "+3 dB området", i "+6 dB området" samt måling ved "komplekse refleksionsforhold". I figur 5.2 er vist eksempler på mulige målepositioner. I målepositionen M_1 forekommer bidrag fra refleksion

fra bygningens facade. Det område foran bygningen, hvortil der ankommer lydenergi reflekteret fra facaden er illustreret. Målepositionen M_2 er placeret i nærheden af bygningen på en sådan måde, at der ikke ankommer lydenergi til M_2 reflekteret fra bygningens facade. Illustrationen er forenklet ved, at lydets bølgelængde er forudsat at være lille. Der er set bort fra virkningen af diffraktion ved facadens kanter.



Figur 5.2 Illustration af refleksion fra bygningsfacade. Plan.

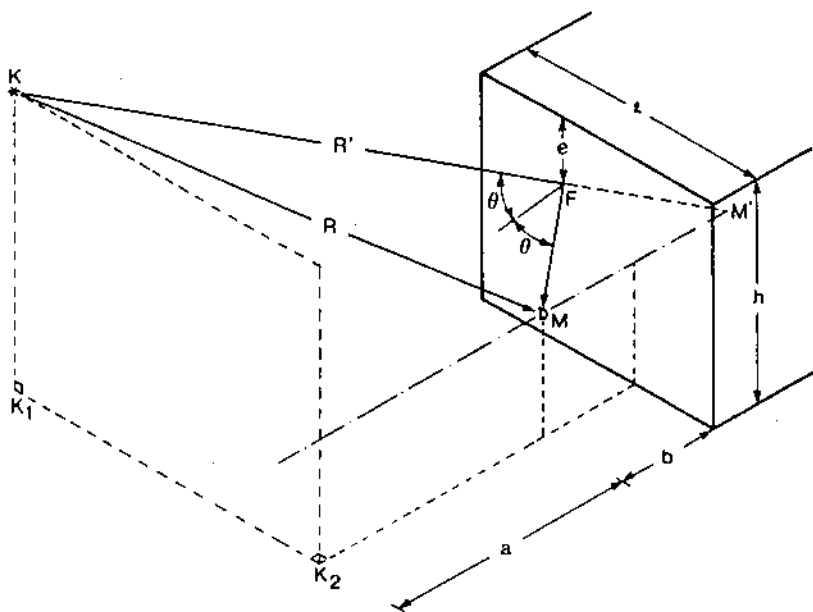
Ved en generel behandling af problemstillingen må anvendes den komplicerede konfiguration i figur 5.3. Der henvises i øvrigt til [Lindblad, 1977, 1981], [Thomasson, 1979], [Rindel, 1981]. I figuren er støjkilden betegnet med K og målepositionen med M . Den reflekterende bygningsfacade har højden h og længden l . Afstanden fra M til facaden er b , målt vinkelret på facaden.

Støjkilden K 's projektion på den vandrette terrænoverflade er benævnt K_1 , og dette punkts projektion på en lodret plan gennem M vinkelret på facaden er benævnt K_2 . K_2 's vinkelrette afstand fra facaden er $a + b$.

M's spejlbillede er benævnt M' . Afstanden fra K til M er kaldt R , og afstanden fra K til M' er kaldt R' .

Linien fra K til M' skærer facadens plan i punktet F. Den mindste afstand fra punktet F til facadens afgrænsning er kaldt e . e kan være såvel en lodret som en vandret afstand.

Vinklen mellem de indfaldende lydbølgers retning (KM') og normalen til facaden er benævnt θ .



Figur 5.3 Illustration af de geometriske karakteristika, som indgår ved vurderingen af bidrag fra refleksion fra bygningsfacader mv.

I figuren er støjkilden forudsat at være punktformet. Dette kan antages at være tilfældet, når målepositionens afstand R fra støjkildens akustiske centrum er større end støjkildens største udstrækning [Kragh et al., 1982]. Er støjkilderne på en virksomhed fordelt over et større område, må der foretages en opde-

ling i delområder. Afstanden fra hvert delområdes akustiske centrum til målepositionen skal være større end delområdets største udstrækning. Hvert delområde repræsenteres af en punktkilde. Vurderingen af refleksionernes betydning baseres på det delområde, der giver de strengeste krav til målepositionens placering som beskrevet i det følgende.

De krav, som er formuleret nedenfor, er baseret på analyser af en idealiseret situation, nemlig en uendeligt stor, fuldstændigt lydreflekterende flade placeret i et i øvrigt frit felt. Der må derfor ske modifikationer af kravene, når der i virkelighedens ikke ideelle verden er tale om dels facader af endelige dimensioner og dels om tilstedeværelsen af en mere eller mindre porøs terrænoverflade mellem støjkilde og måleposition. Terrænets indflydelse synes heldigvis at være ringe [Thomasson, 1979]. De krav, der er stillet til dimensionerne af de reflekterende flader, har karakter af at være kvalificerede skøn støttet af teoretiske overvejelser, mere end af at være verificerede kendsgerninger. Noget tilsvarende gælder kravene til facadernes jævnhed og lydreflekterende egenskaber. Derfor er eksempelvis angivelsen af en typisk facadedimension på $4 \times 8 \text{ m}^2$ kun en angivelse af en størrelsesorden. Facader på $3 \times 8 \text{ m}^2$ og $3 \times 6 \text{ m}^2$ er i denne forbindelse af samme størrelsesorden.

5.3 Fritfeltsmåling

Resultater af fritfeltsmålinger kan sammenlignes med støjgrænser og med de vejledende grænseværdier i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 uden korrektion for refleksionsbidrag.

Som resultater af måling i frit felt kan regnes resultater opnået i målepositioner, hvortil der ikke ankommer lydenergi reflekteret fra lodrette flader nær målepositionen. En sådan måleposition er f.eks. vist i figur 5.2: pos. M_2 .

I målepositioner (f.eks. pos. M_1 , figur 5.2), hvortil der ankommer reflekteret lydenergi, kræves det, at bidraget fra spejlkilden er så lille, at det ikke øger lydtrykniveauet af den direkte transmitterede lyd alene med mere end 1 dB. Spejl-

kildens bidrag skal være ca. 6 dB mindre end bidraget fra den direkte transmitterede lyd, jfr. figur 10.1. Idet det forudsættes, at lydtrykniveauet aftager med 6 dB for hver gang afstanden fra støj-kilden fordobles, må det kræves, at

$$R' \geq 2 \cdot R \quad [5.1]$$

for at måleresultatet kan anses for en fritfeltsværdi. R' er afstanden fra støj-kilden K til målepositionens spejlbillede M' , og R er afstanden fra støj-kilden K til målepositionen M , figur 5.3. Kravet [5.1] er uafhængigt af frekvensen.

Når den reflekterende flade ikke er meget stor, er det ikke altid nødvendigt at kræve afstandskravet [5.1] opfyldt. Der kan uden videre ses bort fra indflydelsen af facader af parcelhuse og lignende (af størrelsesordenen 4 m \times 8 m), når afstanden MF figur 5.3, er større end ca. 50 m.

5.4 "+3 dB måling"

Før resultater af "+3 dB målinger" sammenlignes med støjgrænser eller med de vejledende grænseværdier i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984, skal der trækkes 3 dB fra måleresultatet.

I et vist område foran, men ikke for tæt på, en reflekterende facade kan bidraget fra den direkte transmitterede lydenergi og den reflekterede lydenergi antages at være lige store, nemlig hvor afstandene R og R' er næsten ens (figur 5.3). Summen af disse bidrag vil derfor være 3 dB højere end bidraget fra den direkte transmitterede lyd alene (jfr. afsnit 10).

For at fejlen ved at antage dette skal være mindre end 1 dB, må vilkåret

$$b \leq 0,1 \cdot a \quad [5.2]$$

være opfyldt.

Hvis M placeres meget tæt ved facaden, kan man ikke addere bidragene fra direkte transmitteret og reflekteret lydenergi som

angivet i afsnit 10. I så fald skal man nemlig tage hensyn til lydbølgernes indbyrdes faseforhold. Der kræves en vis afstand fra facaden, før man kan se bort fra denne virkning. Korrelationen mellem trykvariationerne i direkte transmitterede og reflekterede lydbølger skal være ringe. Den nødvendige afstand afhænger af støjens frekvens og båndbredde samt af indfaldsvinklen θ . Ved måling i 1/1 oktavbånd kræves for fejl ≤ 1 dB, at

$$b \geq \frac{\lambda_c}{\cos \theta} \quad [\text{m}] ; \quad \lambda_c = \frac{340}{f_c} \quad [\text{m}] \quad [5.3]$$

hvor λ_c er lydens bølgelængde ved oktavbåndets centerfrekvens f_c [Hz].

Det må sikres, at facaden er stor nok til, at forudsætningerne for udledelsen af vilkårene [5.2-3] er opfyldt. Som håndregel kan angives, at målepositionen skal placeres inden for det trekantede område, som er vist i figur 5.4. Facaden skal mindst være af størrelsesordenen $4 \times 8 \text{ m}^2$.

I figur 5.4 er længden af trekantens grundlinie bestemt af, at afstanden til facadens afgrænsninger skal være mindst $1/\cos\theta$ [m].

Det reflekterede lydfelts retning bestemmes som retningen af den lyd, der reflekteres fra facadens midtpunkt. Områdets udstrækning er begrænset til afstanden r fra facadens midtpunkt i den reflekterede lyds retning.

Afstanden r afhænger af facadens mindste udstrækning, af indfaldsvinklen og af lydens bølgelængde:

$$r = \frac{(l \cdot \cos \theta)^2}{2 \cdot \lambda} \quad [5.4.a]$$

eller

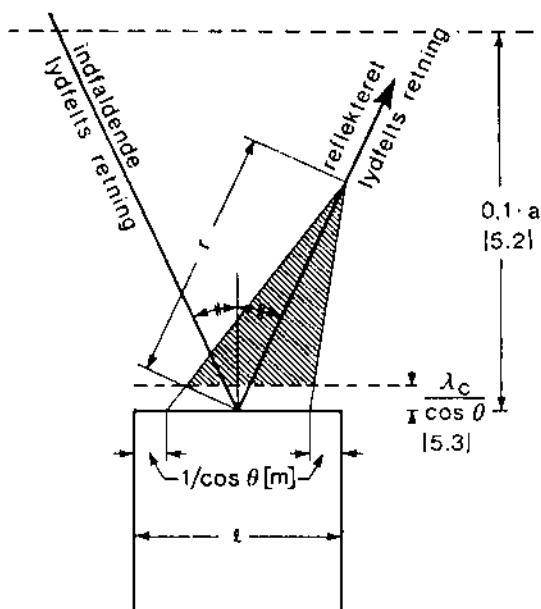
$$r = \frac{(2 \cdot h \cdot \cos \theta)^2}{2 \cdot \lambda} \quad [5.4.b]$$

[5.4.b] anvendes, når $l > 2 \cdot h$. l er facadens længde og h dens højde. θ er vinklen mellem det indfaldende lydfelts retning og

facadens normal i punktet F, figur 5.3. λ er lydets bølgelængde. r bestemmes af bølgelængden ved de laveste frekvenser, som dominerer måleresultatet. r er størst for $\theta = 0^\circ$ og aftager med voksende værdi af θ , særligt hurtigt ved værdier af θ over 45° .

Støjen må ikke være domineret af tonekomponenter. I så fald må målingen udføres som fritfeltsmåling eller eventuelt +6 dB måling.

Vilkårene [5.2-3] er også illustreret i figur 5.4.



Figur 5.4 Planskitse med illustration (skraveret) af område for placering af målepositionen ved "+3 dB-måling".

Kravene i [5.5] dækker de fleste af de i praksis forekommende situationer ved "+3 dB måling":

$$1,5 \text{ m} \leq b < 0,1 \cdot a \quad [5.5]$$

[5.5] er opstillet på basis af [5.2-3], idet det er forudsat,

- at L_{Aeq} er bestemt af hvid støj i et 1/1 oktavbånd eller bredere omkring $f_C \geq 250$ Hz,
- at $\theta \leq 30^\circ$,
- at facadedimensionerne er af størrelsesordenen 4×8 m² eller mere,
- at målepositionen placeres inden for et område af typen skravet i figur 5.4 ($1/\cos\theta = 1$ m, $\lambda_C/\cos\theta = 1,5$ m, $r = 15$ m).

Støjen vil ofte være mere bredbåndet og/eller højfrekvent end forudsat i [5.5]. I så fald vil kravet $b \geq 1,5$ m kunne ændres, sådan at en mindre afstand er tilstrækkelig.

5.5 "+6 dB måling"

Før resultater af "+6 dB målinger" sammenlignes med støjgrænser eller med de vejledende grænseværdier i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984, skal der trækkes 6 dB fra måleresultatet.

I visse tilfælde kan det være hensigtsmæssigt at måle ganske tæt ved en reflekterende flade. Her er trykvariationerne i de direkte transmitterede lydbølger og de reflekterede bølger stærkt korrelerede. Derved sker der med tilnærmelse en fordobling af lydtrykkets amplitude. Dette svarer til, at lydtrykniveauet forøges med 6 dB i forhold til lydtrykniveauet i frit felt.

Betingelsen for, at dette er tilfældet med en fejl på mindre end 1 dB, er

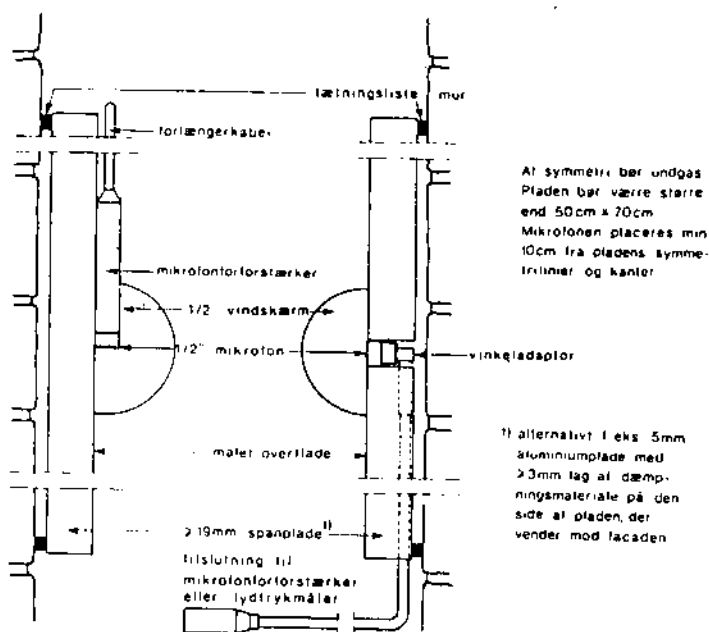
$$b \leq \frac{0,07 \cdot \lambda}{\cos \theta} \quad [5.6]$$

λ er bølgelængden [m] ved den højeste frekvens, som har betydning for måleresultatet. θ er lydens indfaldsvinkel, figur 5.3.

Hertil kommer, at facaden skal være plan og totalt lydreflekterende ved de betydende frekvenser. Disse krav er kritiske ved høje frekvenser, hvor bølgelængden λ er lille.

Facaden skal mindst være af størrelsesordenen $4 \times 8 \text{ m}^2$, og mikrofonen skal have en vis mindsteafstand, e , fra facadens afgrænsning, for at diffraktion ved kanterne ikke påvirker måleresultatet uacceptabelt. Her er de laveste frekvenser kritiske. Ved måling af ekstern støj fra virksomheder er det i reglen tilstrækkeligt, at $e \geq 1 \text{ m}$.

To forslag til mikrofonmontering er vist i figur 5.5. Pladen sikrer, at facaden kan betragtes som plan og totalt reflekterende selv ved høje frekvenser. Er facaden i sig selv totalt reflekterende (af beton, sten eller lignende), kan mikrofonen monteres uden plade.



Figur 5.5 Eksempler på mikrofonmontering ved måling i "+6 dB området".

Anvendes trykmikrofon, er systemets frekvenskarakteristik retlinet ved 1/1 oktav højere frekvenser, end hvis man anvender fritfeltsmikrofon.

I praksis er kravet [5.7] oftest tilstrækkeligt ved måling af ekstern støj fra virksomheder:

$$b \leq 0,01 \text{ m} = \frac{1}{2}'' \quad [5.7]$$

[5.7] er opstillet på basis af [5.6], idet det er forudsat,

- at L_{Aeq} er bestemt af støj i frekvensområdet under 2 kHz,
- at facadens afvigelse fra en plan flade er ≤ 25 mm inden for en cirkel med centrum i målepositionen og radius 1 m,

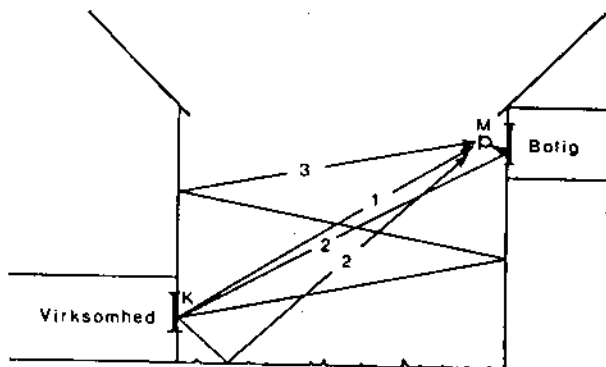
5.6 Komplekse refleksionsforhold

I nogle tilfælde er refleksionsforholdene mere komplicerede end forudsat i de foregående afsnit. Et eksempel herpå er den situation, at en virksomhed er placeret i en baggård med beboelse i bygningerne, som afgrænser gårdrummet.

Den støj, virksomheden udsender, reflekteres gentagne gange mellem bygningsfacaderne, før den når målepositionen, se illustrationen i figur 5.6. Derved forøges L_{Aeq} i målepositionen i forhold til en situation med "frit felt". Det kan ikke på enkel vis afgøres, hvor stor forøgelsen bliver.

I sådanne situationer foreslås det at udføre måling efter retningslinierne i afsnit 5.5, dvs. "+6 dB måling". +6 dB refererer her til forøgelsen af lydtrykniveauet som følge af den "sidste" refleksion for hver transmissionsvej med mere end én refleksion.

Det fremgår umiddelbart af figur 5.6, at der ikke kan gives en entydig definition af afstanden a (jfr. figur 5.3). Dette er baggrunden for, at +3 dB måling som specificeret i afsnit 5.4 ikke kan gennemføres. Der foreligger muligheden for i analogi med målinger i lukkede rum at måle i flere målepositioner og danne en middelværdi af måleresultatet. Denne middelværdi vil repræsentere måling i "+3 dB området". Fremgangsmåden vil formentlig være for kompliceret i praksis.



Figur 5.6 Illustration af gentagne refleksioner i gård-
rum. Transmissionveje

- 1: Direkte lyd
- 2: Via 1 refleksion
- 3: Via 2 refleksioner
- :
- etc.

Ved at gennemføre en +6 dB måling og trække 6 dB fra måleresultatet opnås et mål for den lydenergi, der rammer boligens facade (den "indfaldende lydenergi", som på grund af de gentagne refleksioner vil være større end den indfaldende lydenergi i et frit felt).

Skal støjen på udendørs opholdsarealer i gården vurderes, må L_{Aeq} måles direkte på sådanne arealer. Eventuelt kan L_{Aeq} skønnes med tilnærmelse ved at trække 3 dB fra resultatet af +6 dB målingen.

Mod den foreslåede fremgangsmåde kan indvendes, at virksomheden "straffes" for, at den er beliggende i et lukket gårdrum i forhold til en identisk virksomhed placeret, hvor der ikke finder gentagne lydrefleksioner sted. En korrektion til "frit felts"-værdi er imidlertid ikke mulig at foretage med rimelig nøjagtighed, og set fra beboersynspunkt er det mindre interessant, om en eventuelt generende støj kommer direkte fra virksomheden og via én refleksion fra terrænet i gården, eller om støjen ankommer via gentagne refleksioner fra terræn og facader.

Tilsvarende forhold findes i punkter inde i bebyggede områder, hvor komplicerede refleksionsforhold vanskeliggør bestemmelsen af "frit felts"-værdien af L_{Aeq} .

6. MÅLEPOSITIONER INDENDØRS

Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 indeholder vejledende grænseværdier for støj indendørs. Disse grænseværdier anvendes som grundlag for vurdering, når støjen fra en virksomhed transmitteres til boliger eller andre støjfølsomme arealer beliggende i samme bygning som virksomheden. I sådanne tilfælde kan det være nødvendigt at gennemføre støjmålinger indendørs.

Måleresultatet vil - som følge af rumakustiske fænomener, som ikke skal omtales her - være afhængigt af, hvor mikrofonen placeres. Variationen fra sted til sted i rummet afhænger af mange faktorer. Især den kendsgerning, at støj fra virksomheder har meget varierende frekvensmæssig sammensætning, gør det vanskeligt at fastsætte generelle regler for det nødvendige antal målepositioner samt for deres indbyrdes placering i rummet.

Som håndregel anbefales anvendt mindst 3 målepositioner fordelt i rummet. Den aritmetiske middelværdi af resultaterne fra de forskellige målepositioner bruges som måleresultat.

Afstanden mellem målepositionerne bør være større end den halve bølgelængde. Derved sikres, at den indbyrdes korrelation mellem måleresultaterne er ringe. Sammenhængen mellem bølgelængde og frekvens er

$$\lambda = \frac{340}{f} \quad [\text{m}] \quad [6.1]$$

hvor λ er bølgelængden og f er frekvensen i Hz.

Målepositionerne bør placeres i større afstand end en kvart bølgelængde fra rummets begrænsningsflader. Derved undgår man, at måleresultaterne påvirkes af specielle forhold i lydfeltet ved rummets begrænsningsflader.

Det er bølgelængden af de mest lavfrekvente komponenter, som har betydning for måleresultatet, der skal bruges ved fastlæggelse af de nødvendige afstande.

De nævnte regler kan være svære at overholde i praksis, fordi man ofte skal måle lavfrekvent støj - med stor bølgelængde - i små rum. Reglerne bør da følges bedst muligt. Afvigelser fra reglerne medfører forøgelse af variationen i måleresultaterne fra måleposition til måleposition.

I nogle tilfælde er det nødvendigt at korrigere måleresultatet for rummets efterklangstid. Dette er omtalt i afsnit 9.

7. KORREKTION FOR INDHOLD AF TONER

7.1 Generelt

Erfaringen viser, at støj med indhold af hørbare tonekomponenter virker mere generende end støj uden et sådant toneindhold. Toner kan f.eks. forekomme i støj fra ventilationsanlæg og som hvinen eller brummen fra roterende maskiner.

Dette er baggrunden for, at resultatet af den fysiske måling af det A-vægtede lydtrykniveau eventuelt skal korrigeres før sammenligning med en vejledende grænseværdi eller en støjgrænse.

Under målingen foretages en subjektiv vurdering af, om støjen indeholder tydeligt hørbare toner. Er dette ikke tilfældet, anvendes måleresultatet direkte.

Hvis det ved den subjektive vurdering konstateres, at der findes en eller flere tydeligt hørbare toner i støjen, gives et tillæg på 5 dB til måleresultatet.

Hvis det ved den subjektive vurdering konstateres, at støjen indeholder en eller flere toner, men det ikke med sikkerhed kan afgøres, om tonen (tonerne) kan siges at være tydeligt hørbar, foretages en objektiv måling efter retningslinjerne i afsnit 7.2. På basis af resultatet af denne objektive måling afgøres,

om der skal gives et tillæg på 5 dB til måleresultatet eller ikke.

I situationer, hvor der kun periodevis forekommer toner i støjen, tildeles et eventuelt tillæg alene for de tidsrum, hvor tonen (tonerne) er tydeligt hørbar.

Som følge af interferens kan lydtrykniveauet af en tone variere temmelig meget ved selv forholdsvis små flytninger af målepositionen. De lokale minima i tonens styrke, som skyldes interferens, er uden interesse for den gene, en virksomhed eventuelt påfører de omkringboende. Derfor bør man - både ved den subjektive vurdering og ved valg af stedet for en objektiv måling - ved lytning opsøge en position, hvor tonen forekommer kraftig.

7.2 Objektiv målemetode for toner i støj

Den objektive måling gennemføres i tre trin:

1. trin: Der foretages frekvensanalyse af støjen.
2. trin: Lydtrykniveauet af tonen, samt den øvrige støjs lydtrykniveau inden for et kritisk bånd omkring tonen, bestemmes på basis af resultatet af denne frekvensanalyse.
3. trin: Det afgøres, om der skal gives et tillæg på 5 dB.

Fremgangsmåden i hvert af de tre trin er beskrevet i det følgende. Det principielle i fremgangsmåden er omtalt i [Holm Pedersen, 1978].

Det forudsættes her, at såvel toner som støj er stationære. I afsnit 7.3 omtales ikke-stationære forhold.

1. TRIN: Frekvensanalyse

Frekvensanalysen gennemføres som smalbandsanalyse. For at sikre, at hørbare toner kan observeres i det resulterende frekvensspektrum, anvendes en effektiv analysebåndbredde, som er mindre end eller svarende til angivelserne i tabel 7.1.

Ved analog frekvensanalyse er det ofte hensigtsmæssigt at gennemføre en orienterende frekvensanalyse med større båndbredde før den egentlige analyse.

Tonens frekvens [Hz]	20-63	63-200	200-630	630-2k	2k-6,3k	6,3k-20k
Effektiv analyse- bånd- bredde	20 Hz	20 Hz	20 Hz	22 Hz	57 Hz	126 Hz
absolut relativ	32%	10%	3,5%	2,8%	2%	1,6%

Tabel 7.1 Anbefalede største effektive analysebåndbredder ved forskellige placeringer af tone i frekvensspektrum.

Den objektive vurdering af tonens hørbarhed påvirkes ikke af, om analysen udføres med konstant absolut båndbredde [Hz] eller med konstant relativ båndbredde [%]. Den benyttede analysebåndbredde har heller ingen indflydelse på vurderingen, når analysen blot gennemføres med tilstrækkeligt lille båndbredde.

Den effektive båndbredde er ofte større end analysatorens "nominelle" båndbredde. Der må tages hensyn til dette ved valget af analysebåndbredde og ved vurdering af analysens resultat. Tilsvarende skal der tages hensyn til specielle egenskaber ved den benyttede analytator, som kan have indflydelse på analyseresultatet (f.eks. Hanning-vægtning ved FFT-analyse).

2. TRIN: Bestemmelse af lydtrykniveauet af toner og øvrig støj

Resultatet af frekvensanalysen er et frekvensspektrum. Af dette frekvensspektrum skal lydtrykniveauet af tonerne bestemmes. Endvidere skal lydtrykniveauet af den øvrige støj inden for et såkaldt kritisk bånd indeholdende den/de tydeligste tone/toner bestemmes. De kritiske bånd defineres i denne forbindelse som frekvensbånd med båndbredder som angivet i tabel 7.2.

Centerfrekvens, $f_{c,krit}$	20 - 500 Hz	Over 500 Hz
Båndbredde, kritisk bånd	100 Hz	20% af $f_{c,krit}$

Tabel 7.2 Definition af bredden af kritiske bånd i forskellige frekvensområder.

Det kritiske bånd, inden for hvilket lydtrykniveauet af den øvrige støj skal bestemmes, placeres normalt symmetrisk omkring tonens frekvens. Forekommer der flere - i frekvens tæt liggende - toner, placeres det kritiske bånd på en sådan måde, at det omfatter så mange toner som muligt.

Lydtrykniveau af tonerne

Lydtrykniveauet af en tone aflæses af frekvensspektret. Forekommer der flere toner inden for samme kritiske bånd, skal det samlede lydtrykniveau af alle toner inden for båndet bestemmes.

Lydtrykniveauerne af de enkelte toner adderes som beskrevet i afsnit 10.

Lydtrykniveauet af den øvrige støj

Ud fra frekvensspektret skal endvidere bestemmes lydtrykniveauet af den øvrige støj inden for det aktuelle kritiske bånd, som det ville have været, hvis der ikke var toner i støjen. Lydtrykniveauet af den øvrige støj varierer normalt med frekvensen. Middelverdien af lydtrykniveauet inden for det aktuelle kritiske bånd dannes visuelt ved aflæsning af frekvensspektret, idet der ses bort fra de maksima, som skyldes tilstedeværelsen af toner.

Den aflæste værdi er lydtrykniveauet, $L_{p, støj, middel}$, inden for et frekvensbånd svarende til den anvendte analysebåndbredde. Lydtrykniveauet, $L_{p, krit. bånd}$, af støjen indeholdt i hele det aktuelle kritiske bånd bestemmes ved hjælp af følgende udtryk:

$$L_{p,\text{krit.bånd}} = L_{p,\text{støj,middel}} + 10 \log \frac{\text{kritisk båndbredde}}{\text{eff.analysebåndbr.}} \quad [7.1]$$

3. TRIN: Tildeling af tillæg

Ud fra de fundne lydtrykniveauer af henholdsvis toner og øvrig støj bestemmes en kriteriestørrelse ΔL_{ts} defineret som

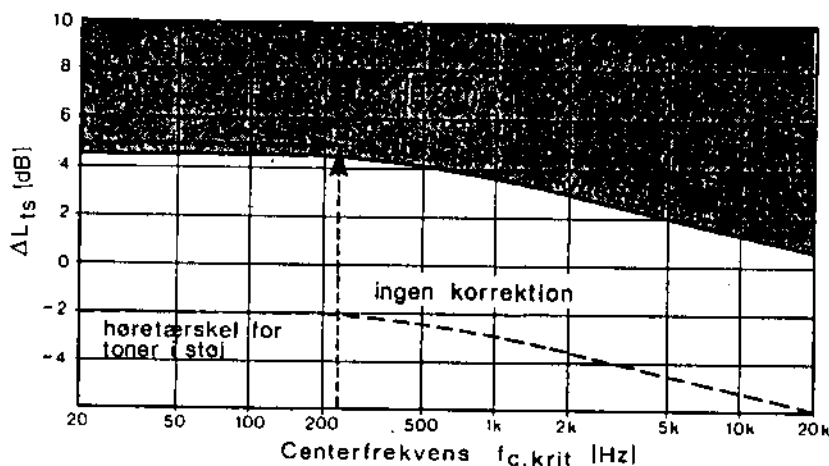
$$\Delta L_{ts} = L_{p,\text{tone}} - L_{p,\text{krit.bånd}} \quad [7.2]$$

$L_{p,\text{tone}}$ er lydtrykniveauet af tonen/tonerne.

$L_{p,\text{krit.bånd}}$ er lydtrykniveauet af den øvrige støj i det aktuelle kritiske bånd med centerfrekvens $f_{c,\text{krit}}$.

ΔL_{ts} er et mål for, hvor kraftig tonen er i forhold til den øvrige støj.

I diagrammet i figur 7.1 opsøges punktet med abscissen $f_{c,\text{krit}}$ og ordinaten ΔL_{ts} . Er dette punkt beliggende på eller over kriteriekurven i figuren, skal der gives et tillæg på 5 dB til måleresultatet. Ligger punktet under kriteriekurven, skal måleresultatet ikke korrigeres.



Figur 7.1 Kriteriekurve for korrektion for toneindhold i støj.

Eksempel

I figur 7.2 er vist resultatet af en frekvensanalyse af en stationær støj.

Af figuren fremgår, at

$$L_p, \text{tone} = 61 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

$$L_p, \text{støj, middel} = 42 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Heraf beregnes:

$$L_p, \text{krit. bånd} = 42 + 10 \log(100/3,75) = \underline{56,3 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa}}$$

$$\text{og altså } \Delta L_{ts} = 5 \text{ dB}$$

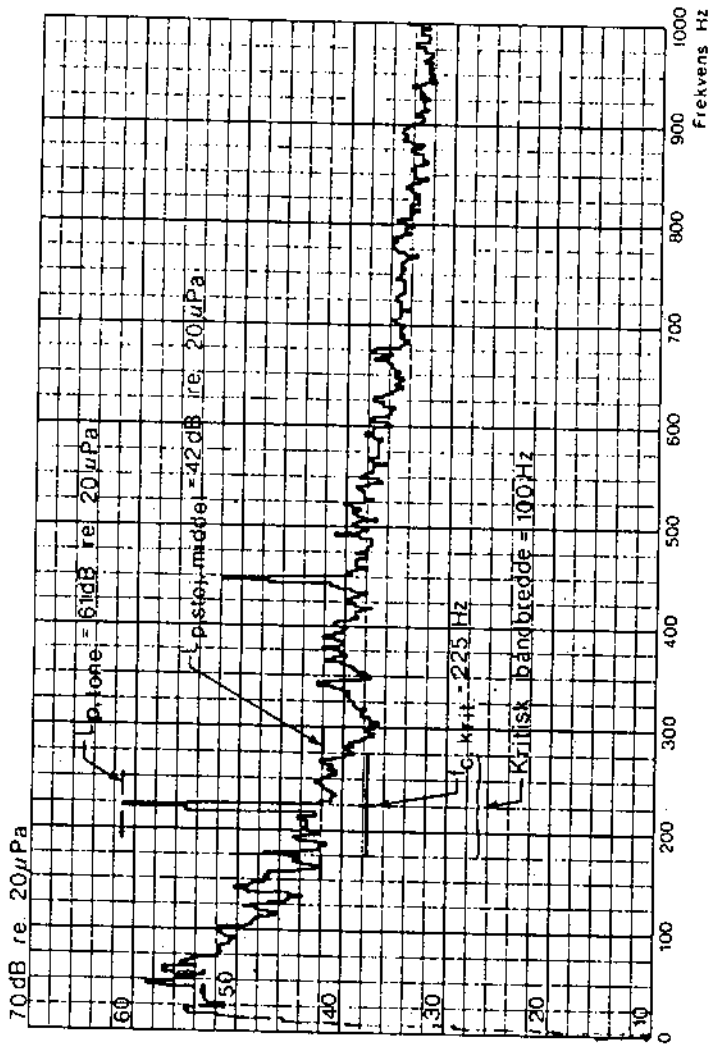
Af figur 7.1 ses, at punktet med abscissen $f_{c, \text{krit.}} = 225 \text{ Hz}$ og ordinat $\Delta L_{ts} = 5 \text{ dB}$ netop ligger over kriteriekurven. Måleresultatet skal følgelig tildeles et tillæg på 5 dB.

7.3 Ikke-stationære forhold

I afsnit 7.2 var det forudsat, at såvel toner som støj var stationære. Dette er oftest tilfældet, når det er aktuelt at gennemføre analyser for at fastlægge toneindholdet i støj. Hvis forholdene undtagelsesvis er ikke-stationære, anvendes følgende retningslinier.

Hvis lydtrykniveauet af en tone fluktuerer (f.eks. ved forekomst af stødtonefænomener), mens lydtrykniveauet af den øvrige støj i det aktuelle kritiske bånd er konstant, sættes lydtrykniveauet af tonen lig med den størst forekommende værdi. Lydtrykniveauet af tonen måles med tidsvægtning FAST (F). Lydtrykniveauet af den øvrige støj bestemmes med en passende lang integrationstid.

Hvis lydtrykniveauet af tonen og den øvrige støj i det aktuelle kritiske bånd varierer på samme måde (f.eks. som følge af variationer i udbredelsesforholdene), foretages analysen som beskrevet i afsnit 7.2. Eventuelt vælges en integrationstid, der er lang i forhold til periodetiden for variationerne.



Full Scale Level 70
 F S Frequency 1 kHz
 Weighting Hanning
 Average Mode Lin.
 No of Spectra 128

Comments:
 Effektiv filter-
 båndbredde: 3.75 Hz

Integrations-tid:
 51 sek.

Figur 7.2 Illustration af fremgangsmåde ved objektiv måling af toneindhold i støj.

Hvis forholdet mellem lydtrykkniveauet af tonen og lydtrykkniveauet af den øvrige støj i det aktuelle bånd varierer indbyrdes, gennemføres gentagne analyser til belysning af forholdene. Tillæg for tydeligt hørbar tone tildeles herefter alene i de tidsrum, hvor ΔL_{ts} ligger over kriteriekurven i figur 7.1.

8. KORREKTION FOR STØJENS VARIGHED

Som et vigtigt led i beskrivelsen af støjen fra en virksomhed skal L_{Aeq} af støjen fra virksomheden bestemmes for de såkaldte referencetidsrum angivet i afsnit 2.1.

Der kan forekomme tilfælde, hvor en virksomhed kun er i drift i en begrænset del, driftstidsrum, af et eller flere af disse referencetidsrum. L_{Aeq} for et referencetidsrum kan i sådanne tilfælde bestemmes ved måling af L_{Aeq} inden for driftstidsrummet og efterfølgende korrektion for, at dette tidsrum er kortere end referencetidsrummet.

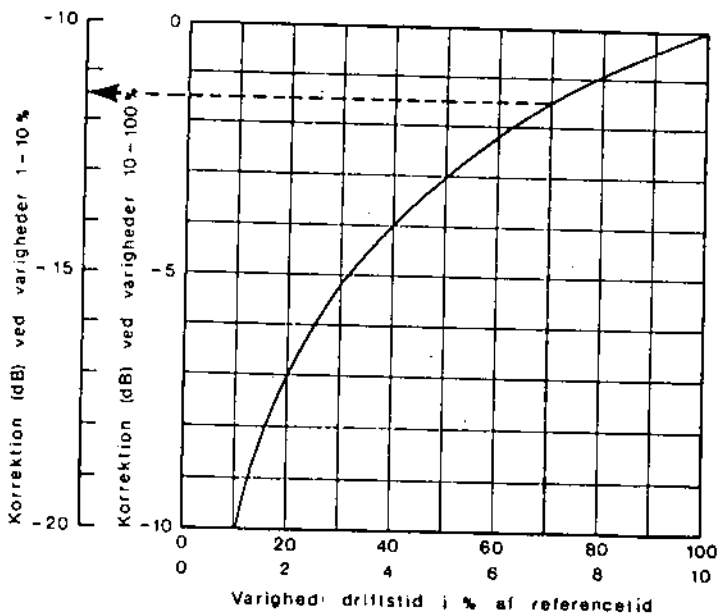
Følgende udtryk benyttes:

$$L_{Aeq,ref} = L_{Aeq,drift} + 10 \log(\Delta t_{drift}/\Delta t_{ref}) \quad [8.1]$$

Heri er

$L_{Aeq,ref}$	= L_{Aeq} for referencetidsrummet
$L_{Aeq,drift}$	= L_{Aeq} målt for driftstidsrummet
Δt_{drift}	= driftstidsrummets (målingens) varighed
Δt_{ref}	= referencetidsrummets varighed

Alternativt kan figur 8.1 benyttes, idet varigheden af driftstidsrummet - udtrykt som % af referencetidsrummet - bruges som indgangsparameter. I diagrammet kan værdien af korrektionen for den mindre varighed aflæses. Diagrammet er opbygget, sådan at samme kurve benyttes i to intervaller; ved varigheder mellem 10% og 100% benyttes ordinataksen nærmest kurven; ved varigheder mellem 1% og 10% benyttes ordinataksen til venstre.



Figur 8.1 Korrektion for varighed.

Eksempel: Varighed 7%

Korrektion: -11,5 dB

Forekommer der flere driftstilstande, for hver af hvilke såvel L_{Aeq} som varigheden er bestemt, kan L_{Aeq} for referencetidsrummet af den samlede støj fra virksomheden bestemmes som

$$L_{Aeq,ref} = 10 \log \left\{ \frac{1}{\Delta t_{ref}} \sum_{i=1}^n \Delta t_{drift,i} \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,drift,i}}{10}} \right\} \quad [8.2]$$

idet bidragene fra hver driftstilstand, markeret ved index i , herved summeres som angivet i afsnit 10. Samtidigt korrigeres for forskelle i driftstilstandenes varigheder.

Anvendes diagrammet i figur 8.1, bestemmes først en korrektion til L_{Aeq} for hver driftstilstand ud fra dens varighed. Derefter korrigeres de målte værdier af L_{Aeq} for hver driftstilstand. De

således korrigerede værdier repræsenterer bidraget fra hver driftstilstand til L_{Aeq} for referencetidsrummet. Disse "tidsnormerede" bidrag summeres endelig (se afsnit 10), hvorved det samlede L_{Aeq} for referencetidsrummet er bestemt.

Eksempel

En virksomheds støjudsendelse består af støjen fra en kompressor samt støjen fra et ventilationsanlæg. Det vides, at driften er meget regelmæssig, jfr. eventuelt figur 2.3. Ca. hvert 10. min. kører kompressoren i 2 min. Denne driftstilstand giver anledning til en stationær støj i den betragtede måleposition: $L_{pA} = L_{Aeq} = 53$ dB re 20 μ Pa. Støjen fra ventilationsanlægget giver konstant $L_{pA} = L_{Aeq} = 44,5$ dB re 20 μ Pa over hele arbejdstiden kl. 07-16.

Driftstilstand	Varighed t	$L_{Aeq,drift}$ dB re 20 μ Pa	Korrektion dB	Bidrag til $L_{Aeq,ref}$ dB re 20 μ Pa
1. Kompr. + vent.	20	53	+7	46
2. Vent.	80	44,5	+1	43,5

Tabel 8.1 Varighedskorrektion af eksemplets delbidrag.

Forskel mellem varighedskorrigerede
delbidrag: $46 - 43,5 = 2,5$ dB

Tillæg til største delbidrag (figur 10.1) 1,9 dB

Resulterende $L_{Aeq,ref} = 46 + 1,9 = 48$ dB re 20 μ Pa

9. KORREKTION FOR EFTERKLANGSTID

9.1 Generelt

De vejledende grænseværdier for støj indendørs i afsnit 2.3 i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1984 er fastsat under forud-

sætning af, at efterklangstiden er 0,5 sek. i beboelsesrum, 0,8 sek. i kontorer og 1,0 sek. i øvrige rum i virksomheder.

I rum, hvor efterklangstiden er kortere end anført, vil - alt andet lige - lydenergien udsendt af en virksomhed give anledning til et lavere lydtrykniveau, og i rum med længere efterklangstid til et højere lydtrykniveau end forudsat. Vurderingen af den støj, virksomheden påfører omgivelserne, bør være uafhængig af den konkrete udformning, herunder møblering, af det betragtede rum. Derfor er det i princippet nødvendigt at normere måleresultatet til standardiserede akustiske forhold, dvs. efterklangstiden i rummet.

Efterklangstiden bør derfor principielt måles, og resultatet af støjmålingen korrigeres som omtalt i afsnit 9.3. I reglen kan man med god tilnærmelse korrigere A-vægtede lydtrykniveauer ved brug af efterklangstiden ved 500 Hz.

I mange tilfælde vil det - i betragtning af størrelsen af de øvrige bidrag til ubestemtheden på måleresultatet - være berettiget at nøjes med et skøn over efterklangstidens størrelse. Som grundlag for dette skøn kan nævnes, at efterklangstiden ved 500 Hz typisk varierer fra 0,2 sek. i små, tæt møblerede rum med mange tekstiler til 1 sek. i store, sparsomt møblerede rum.

Efterklangstiden er normalt forskellig ved forskellige frekvenser. Når værdien af L_{Aeq} bestemmes af bidrag fra andre frekvenskomponenter i støjen end området omkring 500 Hz, bør man måle såvel lydtrykniveau som efterklangstid i forskellige frekvensbånd (f.eks. 1/1 oktav). Derefter korrigeres lydtrykniveauet i hvert frekvensbånd svarende til den relevante efterklangstid. Endelig korrigeres svarende til IEC-kurve A, og de korrigerede bidrag pr. 1/1 oktav til L_{Aeq} adderes som beskrevet i afsnit 10. Den skitserede fremgangsmåde er i bedste fald meget tidskrævende. Proceduren bør derfor alene anvendes i situationer, hvor det skønnes at være af væsentlig betydning for udfaldet af sammenligningen mellem måleresultat og grænseværdi at tage hensyn til efterklangstidens frekvensafhængighed.

9.2 Måling af efterklangstid

Efterklangstiden i et rum er defineret som den tid, det varer, fra en lydkilde afbrydes, til lydtrykniveauet i rummet er aftaget med 60 dB. Efterklangstiden bestemmes på basis af en registrering af lydtrykniveauets tidsmæssige forløb efter ophør af lydudsendelse i rummet.

Som lydkilde kan benyttes en højttaler, der udsender bredbåndet eller oktavbåndfiltreret støj. Endvidere kan anvendes en impulslydkilde, som f.eks. en signalpistol eller en oppustet papierspose, der "knaldes".

Der kan gennemføres båndoptagelse på målestedet med efterfølgende databehandling i laboratoriet, eller man kan foretage registrering af lydtrykniveauets tidsmæssige forløb direkte på målestedet.

Benyttes bredbåndet støj eller en impulslydgiver, må der foretages filtrering i forbindelse med registreringen af lydtrykniveauet som funktion af tiden.

Der findes kommercielt tilgængelige målesystemer designet direkte til efterklangstidsmåling. Sådanne instrumenter kan naturligvis også anvendes.

Der henvises til speciallitteraturen, herunder fabrikantanvisninger, om den rette brug af de indgående instrumenter. Specielt må det sikres, at der ikke forekommer overstyring af instrumenterne. Endvidere skal signal/støjforholdet være tilstrækkeligt i hele det betydende frekvensområde.

Vejledning om principperne for måling af efterklangstid kan fås i f.eks. [DS/ISO 3382], selv om den ikke umiddelbart er tænkt anvendt på den her omhandlede problemstilling.

Den målte efterklangstid afhænger af såvel lydkilde- som mikrofonplacering. Der bør derfor gennemføres flere målinger. Midelværdien af måleresultaterne benyttes ved korrektionen.

9.3 Korrektionsprocedure

$$L_{\text{korrigeret}} = L_{\text{målt}} + 10 \log(t_{\text{ref}}/t_{\text{målt}}) \quad [9.1]$$

Heri er

$L_{\text{korrigeret}}$	= det korrigerede lydtrykniveau
$L_{\text{målt}}$	= det målte lydtrykniveau { begge enten A-vægtet eller pr. 1/1 oktav } { dB re 20 μ Pa }
t_{ref}	= $\begin{cases} 0,5 \text{ sek. i beboelsesrum} \\ 0,8 \text{ sek. i kontorer} \\ 1,0 \text{ sek. i øvrige rum i virksomheder} \end{cases}$
$t_{\text{målt}}$	= den målte efterklangstid [sek.] (ved 500 Hz eller pr. 1/1 oktav)

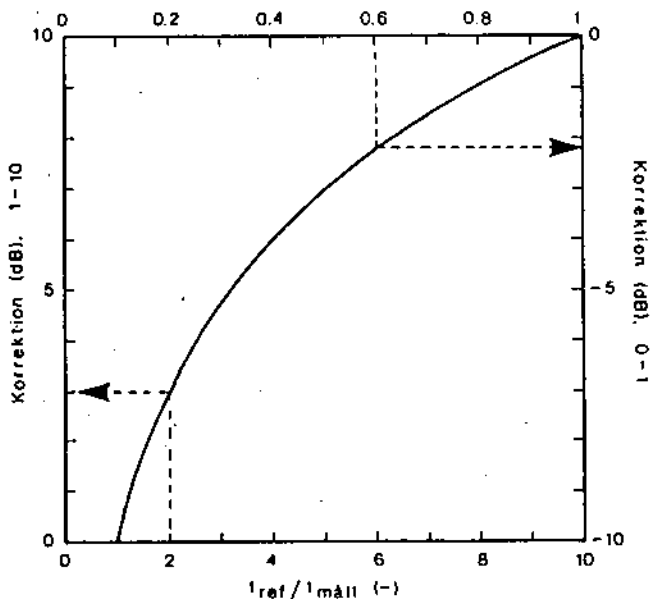
Eventuelt kan værdien af korrektionsleddet $10 \log(t_{\text{ref}}/t_{\text{målt}})$ bestemmes ved hjælp af diagrammet i figur 9.1. For værdier af forholdet $t_{\text{ref}}/t_{\text{målt}}$ mellem 1 og 10 benyttes den nederste abs-
cisseakse og ordinataksen til venstre. For værdier mellem 0 og 1 benyttes øverste abs-
cisseakse og ordinataksen til højre. Der henvises til eksemplerne i figuren.

10. ADDITION AF STØJBIDRAG

Ønskes lydtrykniveauet $L_{\text{Aeq}}(\text{total})$ af den samlede støj fra flere støj-kilder bestemt, anvendes udtrykket

$$L_{\text{Aeq}}(\text{total}) = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{\text{Aeq},i}}{10}} \right\} \quad [10.1]$$

hvor $L_{\text{Aeq},i}$ er L_{Aeq} fra støjkilde nr. i. Bemærk, at det er nødvendigt før addition af L_{Aeq} -værdier at "tidsnormere" dem, dvs. at korrigere som angivet i afsnit 8, så alle bidrag har samme varighed. Addition af lydtrykniveauerne af flere toner (afsnit 7.2) udføres på samme måde som addition af tidsnormerede L_{Aeq} -værdier.

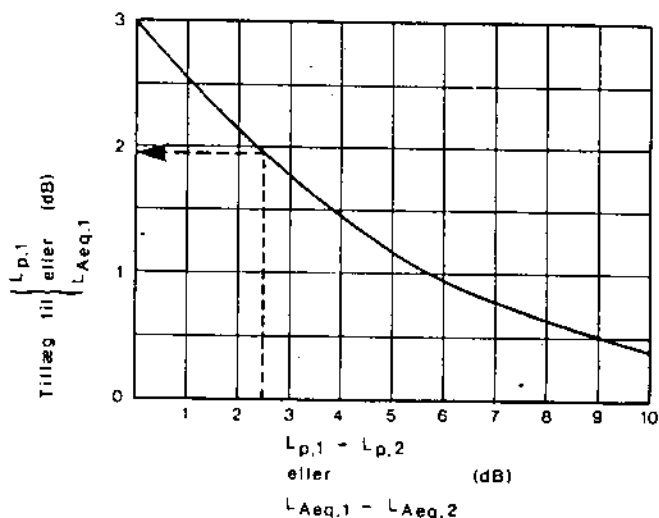


Figur 9.1 Korrektion for efterklangstid.

Eksempel 1 $L_{Aeq,målt} = 28$ dB re 20 μ Pa i bolig
 $t_{målt} = 0,83$ sek. (middel af 3 målinger)
 $t_{ref}/t_{målt} = 0,5/0,83 = 0,6$ [-]
 korrektion = -2,2 dB
 $L_{Aeq,korr} = 28 - 2,2 = \underline{26}$ dB re 20 μ Pa

Eksempel 2 $L_{Aeq,målt} = 38$ dB re 20 μ Pa i kontor
 $t_{målt} = 0,4$ sek.
 $t_{ref}/t_{målt} = 0,8/0,4 = 2,0$ [-]
 korrektion = 3,0 dB
 $L_{Aeq,korr} = 38 + 3,0 = \underline{41}$ dB re 20 μ Pa

Alternativt kan diagrammet i figur 10.1 bruges: ønskes to værdier adderet, dannes differensen. Denne bruges som indgangsparameter. Af diagrammet bestemmes et tillæg, som adderes til den største værdi. Dermed er summen bestemt. Ønskes flere end to delbidrag adderet, adderes først de to mindste delbidrag, og summen af disse adderes til det tredjemindste delbidrag o.s.v.



Figur 10.1 Diagram til brug ved addition af bidrag fra to støjkilder.

Eksempel:

$$\begin{aligned} L_{Aeq,1} &= 46 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa} \\ L_{Aeq,2} &= 43,5 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa} \end{aligned}$$

$$L_{Aeq,1} - L_{Aeq,2} = 2,5 \text{ dB}$$

Korrektion til

$$L_{Aeq,1} = 1,9 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} L_{Aeq}(\text{total}) &= L_{Aeq,1} + \text{korrektion} = \\ &46 + 1,9 = 48 \text{ dB re } 20 \text{ } \mu\text{Pa} \end{aligned}$$

11. RAPPORTERING - HUSKELISTE

Nedenfor er opstillet en huskeliste til brug ved udarbejdelse af rapporter om støjmålinger. Der henvises til "Måling af ekstern støj fra virksomheder. Prototypemålinger" (Nyt fra Miljøstyrelsen nr. 3, 1978) for vejledning om udformning af rapporten. Rapporten skal beskrive:

- 1) Formålet med målingerne.
- 2) Måleresultater: L_{Aeq} , L_T og eventuelt L_{pAmax} pr. måleposition og pr. referencetidsrum.
- 3) Ubestemthed på måleresultaterne: 5 pr. måleresultat, jfr. afsnit 4.
- 4) Målepositioner, herunder kortbilag med målestok og nordpil samt i nødvendigt omfang målsatte skitser, mikrofonhøjde og placering i forhold til reflekterende flader.
- 5) Virksomhedens omgivelser (herunder fornødent kortmateriale) i form af indholdet af lokalplaner mv. samt den faktiske arealanvendelse.
- 6) Støjkildernes art og placering (herunder ligeledes fornødent kortmateriale) samt driftsbetingelser (herunder f. eks. belastning/effektforbrug o.l. samt varigheder) og omfang af eventuelle støjreducerende foranstaltninger.
- 7) Fremgangsmåden ved målingernes gennemførelse, herunder referencetidsrum, observationstidsrum, måletidsrum, overvågning mv.
- 8) Instrumenter: type, fabrikat, identifikationsnr., kalibreringsprocedure, dato for seneste kontrol og/eller rekalibrering.
- 9) Målebetingsbetingelser, herunder baggrundsstøj (kilders art, placering, støjens karakter og karakteristiske lydtrykniveauer) samt meteorologiske forhold (middelvindretning og -hastighed, temperaturgradient).
- 10) Støjens karakter, herunder indhold af tonekomponenter og impulser, eventuelt anvendte korrektioner samt en vurdering af, om støjen er specielt lavfrekvent.
- 11) Databehandling i øvrigt, herunder eventuelle korrektioner for indflydelse fra baggrundsstøj, varighed mv.
- 12) Rekvirent, herunder kontaktpersons navn, adresse og telefonnummer.
- 13) Virksomheden, herunder kontaktpersons navn, adresse og telefonnummer.

- 14) Eventuelle klagere, navn, adresse og telefonnummer.
- 15) Måleinstitution, herunder sagbehandlers navn, adresse og telefonnummer.

Det vil normalt være hensigtsmæssigt, at måleinstitutionen - som supplement til målerapporten - giver en orientering om mulighederne for reduktion af støjen. En sådan orientering givet på baggrund af iagttagelser foretaget under rekognosceringer og under gennemførelse af målinger vil ofte være af værdi for den senere sagsbehandling. Oplysninger om mulighederne for reduktion af støjen kan gives i et følgebrev til målerapporten. Selve rapporten bør være rent teknisk beskrivende.

12. SYMBOLLISTE

Symbol [enhed]

F		Punkt på facade, hvorfra reflekteret lyd når måleposition
K		Støjkilde: punktkilde eller akustisk centrum af udstrakt kilde
K ₁ , K ₂		Projektioner af K
K'		Spejlbillede af K i reflekterende flade
L	[dB]	Niveau (level), f.eks. L _p = lydtrykniveau [dB re 20 μPa]
M		Måleposition
M ₁ , M ₂		Måleposition nr. 1 og 2
M', M''		Spejlbillede af M i reflekterende flade(r) ved én hhv. to refleksioner
N	[-]	Antal måleresultater eller grupper af måleresultater
R	[m]	Afstand fra støjkilde til måleposition
R'	[m]	Afstand fra støjkilde til spejlbillede af måleposition

T	[°C]	Lufttemperatur
a	[m]	Afstand vinkelret på reflekterende flade
b	[m]	Afstand fra reflekterende flade til M
e	[m]	Mindste afstand fra F til reflekterende flades afgrænsning
f	[Hz]	Frekvens
h	[m]	Højde af reflekterende flade
l	[m]	Længde af reflekterende flade
m	[dB re 20 µPa]	Energimiddelværdi af $L_{Aeq,0}$
n	[-]	Totalt antal bidrag, som skal adderes
p	[Pa]	Lydtryk
r	[m]	Udstrækning af område for "+3 dB-måling"
s	[dB]	Estimat af standardafvigelse
t	$\left\{ \begin{array}{l} [s] \\ [-] \end{array} \right.$	Tid, efterklangtid Testparameter (Student's t)
u	[m/s]	Vindhastighed (u = middelvindhastighed)
z	[m]	Højde over terræn
δ	[dB]	Ubestemthed = halv bredde af 90% konfidensinterval
Δ	[dB][s] mv.	Interval, f.eks. Δ , Δt
θ	$\left\{ \begin{array}{l} [^\circ] \\ [\text{radianer}] \end{array} \right.$	Vinkel mellem indfaldende lydbølges retning og normalen til reflekterende flade
λ	[m]	Bølgelængde
σ	[dB]	Standardafvigelse

Indikerer middelværdi (aritmetisk), f.eks. L_{pAmax}

Indices

A	A-vægtning, f.eks. L_{pA} = A-vægtet lydtrykniveau
b	Baggrundsstøj, f.eks. $L_{pA,b}$ = A-vægtet lydtrykniveau af baggrundsstøj
c	Center, f.eks. f_c = centerfrekvens af oktavbånd
eq	(Energ)ækvivalent, f.eks. L_{Aeq} = energiækvivalent A-vægtet lydtrykniveau
i	Nr., f.eks. nr. på støjkilde, hvis bidrag skal adderes til bidrag fra andre støjkilder Instrument(-betinget bidrag til ubestemthed)
k	Kilde(-betingede lydtrykniveaufluktationer) Nr. på gruppe af L_{pAmax} -målinger
krit.	Kritisk bånd
m	Meteorologisk (betingede lydtrykniveaufluktationer)
max	Maksimalværdi, f.eks. L_{pAmax} = maksimal værdi af det A-vægtede lydtrykniveau (FAST(F))
P	(Lyd)tryk (pressure), f.eks. L_p = lydtrykniveau
r	Rating (level), dvs. L_{Aeq} korrigeret for eventuelt tone- og/eller impulsindhold og/eller informationsindhold
s	Støj, f.eks. ΔL_{ts}
t	Totalstøj, f.eks. $L_{Aeq,t}$ = energiækvivalent A-vægtet lydtrykniveau af totalstøjen, dvs. støjen fra virksomheden samt baggrundsstøjen Tone, f.eks. ΔL_{ts}
v	Virksomhedsstøj, f.eks. $L_{pAmax,v}$ = maksimal værdi af det A-vægtede lydtrykniveau af støjen fra virksomheden
o	Referenceværdi Observeret resultat

95 95% fraktil af den kumulative hyppighedsfordeling, f.eks. LpA,95 = den værdi af det A-vægtede lydtrykniveau, som overskrides i 95% af det betragtede tidsrum

13. REFERENCER

H.E.A. Brackenhoff, P.M. Buis, A. von Meier: "Handleiding meten en rekenen industrielawali". ICG-Rapport nr. IL-HR-13-01, Delft, 1981.

O. Carlsen: "2. sammenlignende støjmåling". Redegørelse No. 4, fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger. Lydteknisk Institut, Lyngby 1983.

DS/ISO 3382: "Akustik - Måling af efterklangstid (Acoustics - Measurement of reverberation time in auditoria)", 1978.

P. Eriksson, S. Lindblad: "Systemvillkor för skattning av industribuller". Rapport TVBA-3001, Lund, december 1979.

P. Eriksson, S. Lindblad: "On Estimation of Environmental Industrial Noise". Lund Institute of Technology, Department of Building Acoustics, Report TVBA-3006, april 1981.

IEC-publication 179: "Precision sound level meters".

IEC-publication 651: "Sound level meters".

ISO 1996: "Acoustics - Description and Measurement of Environmental Noise", Part 1: "Basic Quantities and Procedures", Layout for ISO/DIS 1996/1 ISO/TC 43, December 1979. Part 2: "Land Use Planning", ISO/TC 43 SC 1 N415, 1980-03-15.

S. Israelsson: "Ljudutbredning i de marknära luftskikten". Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet, 1979.

J. Jakobsen: "Vindmåling i forbindelse med udendørs støjmåling". Redegørelse No. 3 fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger. Lydteknisk Laboratorium, Lyngby 1981.

J. Jakobsen: "Wind Noise. Measurements of Wind-Generated Noise from Vegetation and Microphone System". Lydteknisk Institut, rapport nr. 108, Lyngby 1983a.

J. Jakobsen, B. Andersen: "Noise Immission from Industry. Measurement and Prediction of Environmental Noise from Industrial Plants." Lydteknisk Institut, rapport nr. 105, Lyngby 1983b.

J. Kragh, B. Andersen, J. Jakobsen: "Environmental Noise from Industrial Plants. General Prediction Method". Lydteknisk Laboratorium, rapport nr. 32, Lyngby 1982.

J. Kragh: "Måling og beregning af ekstern støj fra virksomheder. En statusrapport". Lydteknisk Institut, rapport nr. 107, Lyngby 1983.

C. Larsson, S. Israelsson: "Beskrivning och krav på meteorologiska parametrar vid ljudnivåmätningar". Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1388, Stockholm 1980.

C. Larsson, S. Israelsson: "Meteorologiska parametrars inverkan på ljudutbredningen från en punktkälla", Del 2. Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet, 1980.

S. Lindblad, P. Eriksson: "Förslag till immissionsmetod för externt industribuller. Mark I". Rapport TVBA-7009, Lund, utdateret (1980).

S. Lindblad et al.: "Rekommendationer för mikrofonplacering vid mätning av bullerimmission från vägtrafik". Med bilag. Lund 1977. Publiceret af Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1063, Stockholm 1978.

S. Lindblad: "Statusrapport oktober 1979, Externt industribuller, delprojekt A.1". Universitetet i Lund, Avdelningen för byggnadsakustik.

S. Lindblad: "Okorreleret nivå-tillskott för plan våg framför ändlig facad. Underlag för bedömning av område för +3 dB-mätning". Rapport TVBA-3009, Lund 1981.

Nordisk Beregningsmodel for Vejtrafikstøj. Vejdatalaboratoriet, Rapport 23, København 1978, 2. udgave 1981.

T. Holm Pedersen: "Forslag til objektiv målemetode for hørbare toner i støj". Proceedings, Nordisk Akustisk Selskabs Møde, NAM-78, p. 145-148, Odense 1978.

J.H. Rindel: "Lydrefleksion og -absorption". Noter til kursus 5142, Bygnings- og rumakustik, Notat P. Laboratoriet for Akustik, Lyngby 1981.

SNV, 1984: "Metod för immissionsmätning av externt industribul-
ler" (endnu upubliceret anvisning fra Statens Naturvårdsverk,
Stockholm).

S.Å. Storeheier: "Lydutbredelse utendørs. Høyt plassert lydkil-
de over porøs mark". ELAB rapport STF44 A79017, Trondheim 1979.

S.Å. Storeheier: "Outdoor Sound Propagation above Soft Ground.
Some Results from Field Measurements". ELAB rapport STF44
A81055, Trondheim 1981.

S.Å. Storeheier, K.H. Liasjø: "Måling og beregning av ekstern
industriestøy" ELAB-rapport STF44 A82091, Trondheim 1982.

S.-I. Thomasson: "Inverkan av reflexion från ändlig fasad".
Rapport TVBA-3002, Lund 1979.

VDI 2714: "Schallausbreitung im Freien". VDI Richtlinie VDI-
2714 Entwurf, Düsseldorf 1976.

