

TEKNISK RAPPORT

Rapport nr.

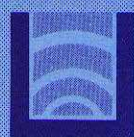
LI 26/87

Rapporttitel

Støj fra tunge køretøjer.
Muligheder for begrænsning.

Klient/Rekvirent

Miljøstyrelsen, Trafikkontoret
Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet






Postadresser:

- Bygning 356
Akademivej
DK-2800 Lyngby
Telefon: 02 93 12 11
Telex: 37529 dth/dia dk
Giro: 6 07 91 48
- Gregersensvej 3
DK-2630 Tåstrup
Telefon: 02 99 77 55

TEKNISK RAPPORT

Rapport nr. LI 26/87	Dato 1987-01-14 JK/JJ/lm
Rapporttitel Støj fra tunge køretøjer. Muligheder for begrænsning.	
Klient/Rekurent Miljøstyrelsen, Trafikkontoret Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet	Udført af  Bent Andersen Jørgen Jakobsen Jørgen Kragh
Klientens/Rekurentens ref. Tage V. Andersen / Hans Bendtsen	

Resumé

Rapporten er udarbejdet som arbejdsgrundlag for Nordisk Støj-gruppe. Den består af fire delrapporter for delprojekterne:

1. Forskelle på støjen fra tunge og lette køretøjer
2. Tunge køretøjers delstøjkilder
3. Begrænsning af trafikstøj indendørs
4. Virkningen af administrative og planlægningsmæssige indgreb

Arbejdet er i hovedsagen baseret på en gennemgang af nyere literatur. Delrapport 1 er dog delvis baseret på nye målinger af støj fra bytrafik og nye analyser af tidligere udførte målinger.

Delrapporterne er oprindeligt udarbejdet som selvstændige rapporter. Her er de samlet under ét med en sammenfatning af indholdet p.3-4, mens indholdsfortegnelse og referenceliste mv. findes i de individuelle delrapporter.

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
STRANDGADE 29
1401 KØBENHAVN K

Distribution
 LI
 Fri
 Rekurent

Antal sider

134

STØJ FRA TUNGE KØRETØJER. MULIGHEDER FOR BEGRÆNSNING.INDHOLD

SAMMENFATNING

Delrapport 1: FORSKELLE PÅ STØJEN FRA TUNGE OG LETTE KØRETØJER

Delrapport 2: TUNGE KØRETØJERS DELSTØJKILDER

Delrapport 3: BEGRÆNSNING AF TRAFIKSTØJ INDENDØRS

Delrapport 4: VIRKNINGEN AF ADMINISTRATIVE OG PLANLÆGNINGS-
MÆSSIGE INDGREB



SAMMENFATNING

Denne rapport er udarbejdet som led i et nordisk samarbejde, hvis formål er at etablere grundlaget for beslutninger om skærpelse af kravene til støjudsendelsen fra biler. Rapporten handler om støjen fra tunge køretøjer og især om den lavfrekvente støj. Andre problemstillinger behandles i sideløbende projekter i de øvrige nordiske lande.

I første del af rapporten påvises det, at den gennemsnitlige støj fra tunge køretøjer i bytrafik ikke har en anden frekvensmæssig sammensætning end støjen fra personbiler. Dette er i modstrid med den gangse opfattelse. Støjen fra tunge køretøjer har derimod et højere niveau end støjen fra personbiler, og i korte tidsrum forekommer der meget kraftig lavfrekvent støj fra tunge køretøjer.

I anden del gennemgås delstøjkilderne på tunge køretøjer og mulighederne for dæmpning af støjen. Det konkluderes, at det i dag er teknisk muligt at dæmpe støjen, der udsendes ved tunge køretøjers acceleration, med omkring 10 dB uden uheldige virkninger på driftssikkerhed, kørselsøkonomi mv. Merprisen for støjdæmpede køretøjer vil være ca. 5% ved serieproduktion.

Rapportens tredje del omtaler begrænsning af trafikstøj inden dørs. Blandt andet nævnes nye resultater af udviklingen af lyd-isolerende vinduer og udeluftventiler, og der resumeres oplysninger til brug for projektering af forbedret lydisolations eksisterende bygninger og af nybyggeri med høj lydisolations. Det påpeges, at opfattelsen af støj fra tunge køretøjer som særligt lavfrekvent og særligt generende i væsentlig grad kan skyldes, at lydisolations mod støj udefra i reglen er ringest ved lave frekvenser. Det vises, at det vægtede reduktionstal, der bruges ved klassificering af vinduers lydisolations, kan forøges - for eksempel ved laminering af ruder og ved gasfyldning af vinduer - uden at det indendørs støjniveau derved formindskes mærkbart.

I rapportens fjerde del anbefales - på baggrund af de første tre dele og gennemgang af den nyeste litteratur - en række ind-



greb, myndighederne kan foretage over for støjen fra tunge køretøjer. Blandt de højest prioriterede bør være:

- indførelse af skærpede grænser for støjuddannelsen,
- anvendelse af støjsvage vejbelægnings og
- afgrænsning af "stilleområder" med forbud mod køretøjer, der ikke er støjdæmpet.

Projektet var afgrænset til udelukkende at handle om de fysiske aspekter af støjen og altså ikke om de gener, mennesker, som er udsat for støjen, oplever.



FORSKELLE PÅ STØJEN FRA TUNGE OG LETTE KØRETØJER

Udarbejdet af Bent Andersen

INDHOLD

	Side
1. FORMÅL	3
2. LITTERATURUNDERSØGELSE	3
2.1 Om støjkilderne	4
2.2 Spektre af støjen fra tunge og lette køretøjer ...	6
2.3 Diskussion	9
3. MÅLINGER	11
3.1 ISO-accelerationstest	11
3.2 Accelererende bytrafik	13
4. KONKLUSIONER	18
APPENDIX A: Resultater af ISO-accelerationstest	20
APPENDIX B: Resultater for accelererende bytrafik	27
REFERENCER	29





1. FORMÅL

Undersøgelsens formål var at beskrive forskelle mellem fysiske karakteristika for støjen fra tunge køretøjer og støjen fra lette køretøjer i bytrafik. Forskellene blev især undersøgt for accelererende trafik, men også for frit flydende trafik. Det blev specielt undersøgt, om støjen fra tung trafik har større energiindhold ved lave frekvenser end "almindelig" vejtrafikstøj. Hvis en sådan forskel findes, vil den normalt være større indendørs. Dette kan muligvis være en del af forklaringen på resultaterne af nogle interviewundersøgelser, hvor en ændring af andelen af tunge køretøjer gav en større ændring af genen end forventet ud fra ændringen af trafikstøjens L_{Aeq} , ref. [1-2].

Undersøgelsen blev gennemført ved et litteraturstudium suppleret med to mindre måleserier. Målingerne blev udført specielt for at belyse forholdene under acceleration i bytrafik.

2. LITTERATURUNDERSØGELSE

Ved litteraturgennemgangen blev først og fremmest søgt litteratur, som giver mere detaljerede resultater end blot totale A-vægtede lydtrykniveauer. Der blev desuden især søgt resultater fra målinger af støj fra normal bytrafik og ikke fra specielle kørselsmetoder (ISO accelerationstest o.l.).

Litteraturgennemgangen har omfattet en systematisk gennemgang af artikler i en række tidsskrifter fra perioden 1979-1985. Det blev på forhånd vurderet som umuligt at finde relevante oplysninger ved en EDB-søgning. I stedet blev det valgt at foretage en "manuel" gennemgang af artikler om beslægtede emner i håb om at finde brugbar information på mindre fremtrædende plads i disse artikler.

Følgende tidsskrifter er gennemgået: Applied Acoustics, Journal of Sound and Vibration, Noise Control Engineering og Kampf dem



Lärm. Gennemgangen har også omfattet beretningerne fra Inter-Noise kongresserne i den nævnte periode samt fra de senest afholdte FASE- og ICA-kongresser. Alle de nævnte publikationer indeholdt kun ganske få referencer med relevans for dette delprojekt. Disse referencer er omtalt i det følgende.

2.1 Om støjkilderne

De væsentligste forskelle på støjen fra tunge og lette køretøjer skyldes anvendelsen af forskellige motortyper samt grundlæggende konstruktionsforskelle. På grund af lastbilernes størrelse er dimensionerne af indsugnings- og udstødningssystemer væsentlig større end på personbiler. Dette resulterer i væsentlige forskelle i støjemissionen ved lave frekvenser (under ca. 200 Hz), hvor motorstøjen (incl. indsugnings- og udstødningstøj) er dominerende. Desuden er lastbilers støjkilder normalt meget dårligt skærmet af karrosseriet. Dette skyldes dels, at lastbiler af driftsmæssige grunde udformes med stor frihøjde, frie hjul m.m. (f.eks. for entreprenørbiler), og dels, at lastbiler ofte leveres som chassis. Når chassiset er regulært og frit, giver det flere muligheder for individuel opbygning af lad eller varekasse. Denne opbygning foretages normalt af firmaer uden specielt kendskab til støjkilderne på den aktuelle lastbil, og en optimal afskærmning opnås sjældent. En betydningsfuld undtagelse udgøres af bybusser, hvor trafikelskaberne de senere år har opnået gode resultater. Dette omtales udførligt i delrapport 2.

Størstedelen af de lette køretøjer har 4-takts benzinmotorer, hvorimod praktisk taget alle tunge køretøjer har dieselmotorer. Motorkonstruktionen er mere varierende inden for gruppen af tunge køretøjer end inden for gruppen af lette køretøjer. Tunge køretøjer har motorer med 4, 6, 8 eller 12 cylindre, ligesom der både forekommer 4- og 2-takts motorer med direkte eller indirekte indsprøjtning samt med eller uden turboladning. Dette giver blandt andet anledning til stor spredning af tandfrekvensen ved et givet omdrejningstal. Tunge køretøjers motorer ope-



rerer inden for et ret begrænset område af omdrejningstal, typisk fra ca. 1000 min^{-1} til ca. 2500 min^{-1} . For benzinmotorer er det tilsvarende område ca. 1000 min^{-1} til ca. 5000 min^{-1} . Tunge køretøjer har derfor i reglen mange flere gear (typisk 8-10 gear) end lette køretøjer (4-5 gear). Disse forskelle afspejles i nogle karakteristiske forskelle i motorstøjen fra tunge og lette køretøjer. Dette illustreres i fig. 2.1 fra ref. [3].

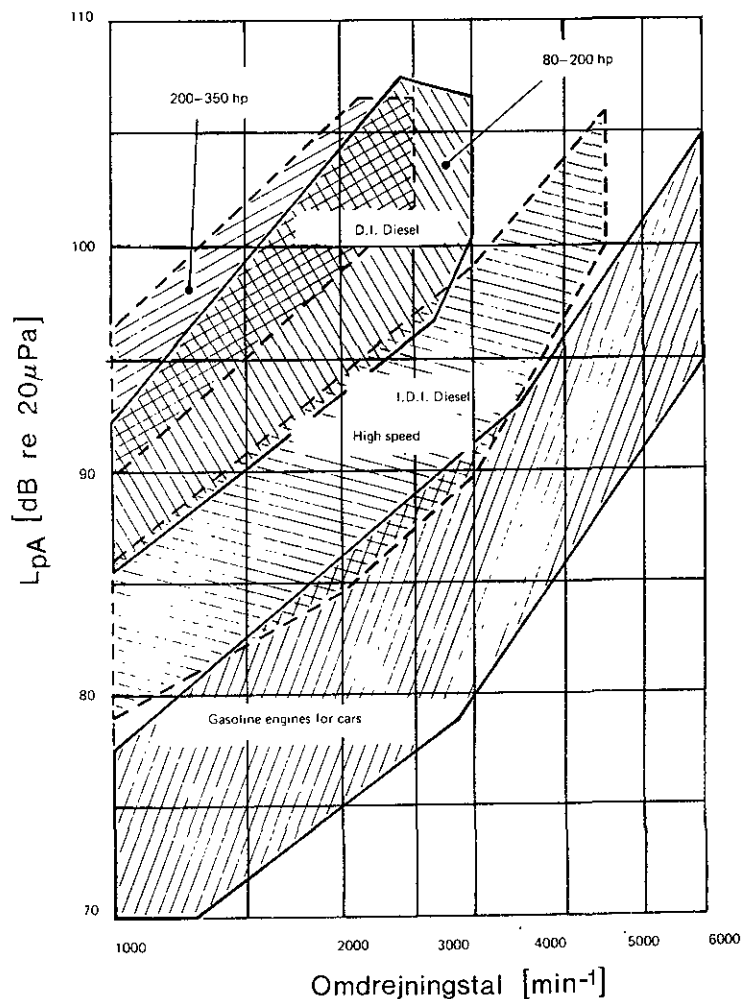


Fig. 2.1 Variationsområde for det A-vægtede lydtrykkniveau L_{pA} , målt 1 m fra motorer på prøvebank, som funktion af omdrejningstallet (ref. [3]).

Øverst: Dieselmotorer med direkte brændstofindsprøjtning (D.I.)

Midten: Dieselmotorer med indirekte brændstofindsprøjtning (I.D.I.)

Nederst: Benzinmotorer



Det ses af figuren, at støjen fra de forskellige motortyper ændrer sig omtrent lige meget ved ændring af omdrejningstallet. Som følge af det begrænsede variationsområde for motoromdrejningstallet varierer motorstøjen fra tunge køretøjer kun 10-15 dB. Under en acceleration nås den maksimale værdi til gengæld mange gange. For lette køretøjer er variationsområdet 25-30 dB, men på grund af de færre gearskift nås den maksimale værdi kun få gange i løbet af en acceleration.

L_{Aeq} af støjen ved passage af et accelererende tungt køretøj er væsentligt større end L_{Aeq} ved passage af et accelererende let køretøj. Desuden er støjens tidsmæssige variation altså væsentlig forskellig.

2.2 Spektre af støjen fra tunge og lette køretøjer

De spektrale forskelle mellem støjen fra lette og tunge køretøjer er tidligere belyst som en del af en anden undersøgelse, ref. [5]. Ved denne undersøgelse var de væsentligste parametre, som kunne påvirke spektret af den totale støj fra lette og tunge køretøjer: fart, acceleration og andel tunge køretøjer. Undersøgelsen byggede især på referencer fra Norge, Holland og England. Konklusionen var, at hverken variationer af fart, acceleration eller andelen af tunge køretøjer giver anledning til væsentlige ændringer i spektrets form. Dette illustreres af fig. 2.2. Figuren viser de gennemsnitlige spektre \pm en standardafvigelse for støjen fra lette og tunge enkeltkøretøjer målt i højden 1,5 m og afstanden 7,5 m fra en tør asfaltvej (ref. [6]).

Fig. 2.2 viser, at der ikke er væsentlige forskelle på formen af gennemsnitsspektrene af støjen fra lette og tunge køretøjer. Der er derimod forskel på spredningen af oktavbåndsniveauerne for de to køretøjstyper. Specielt varierer støjen i 63 Hz-oktaven meget mere for de tunge køretøjer end for de lette. Denne forskel kommer også til udtryk i nogle regressionslinier, som angiver sammenhængen mellem oktavbåndsniveauer og fart for de

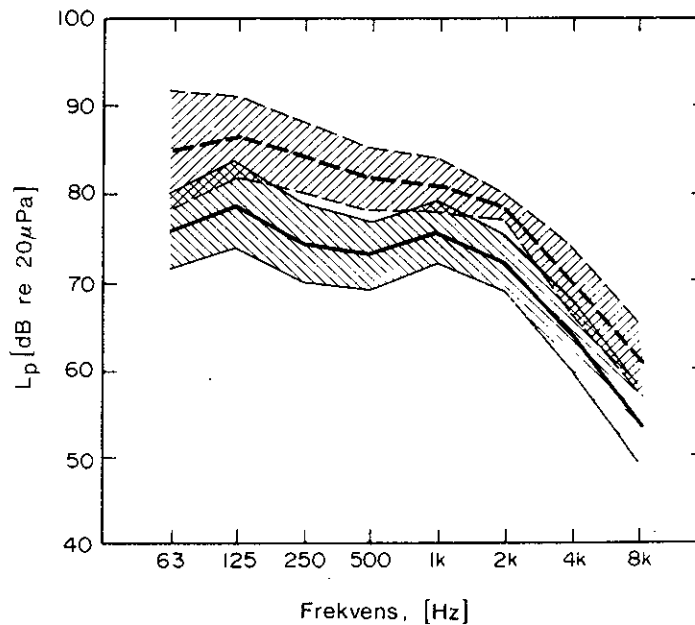


Fig. 2.2 Lydtrykniveau pr. oktav, L_p , af støj fra enkeltkøretøjer (afstand 7,5 m, højde 1,5 m). Gennemsnit \pm standardafvigelse (ref. [6]).

--- tunge ($L_{pA} = 84,2$ dB re 20 μ Pa)
 — lette ($L_{pA} = 77,8$ dB re 20 μ Pa)

to køretøjstyper (jf. ref. [6]). Her fås generelt et voksende oktavniveaue for voksende fart - bortset fra i 63 Hz-oktaven, hvor lydtrykniveauet af støjen fra lette køretøjer stort set er uafhængigt af farten, mens det for de tunge køretøjer aftager med voksende fart. Denne forskel på variansen af støjemissionen ved lave frekvenser er også omtalt i ref. [7] og [3]. Forholdet illustreres desuden af den generelle tendens i fig. 2.3 a og b. Den viser spektre af støjen fra tunge lastbiler med 4-takts dieselmotorer (figurens del a) og fra lette vare- og lastbiler med benzinmotorer (figurens del b) målt ved en ISO-accelerationstest. Det ses tydeligt, at spredningsområdet for støjspektre fra tunge lastbiler udvider sig stærkt ved lave frekvenser under 100 Hz.

Variationen kan være ± 10 - 15 dB ved frekvenser under 100 Hz for tunge lastbiler, mens den for lette køretøjer med benzinmotor næppe overskrider ± 5 dB.

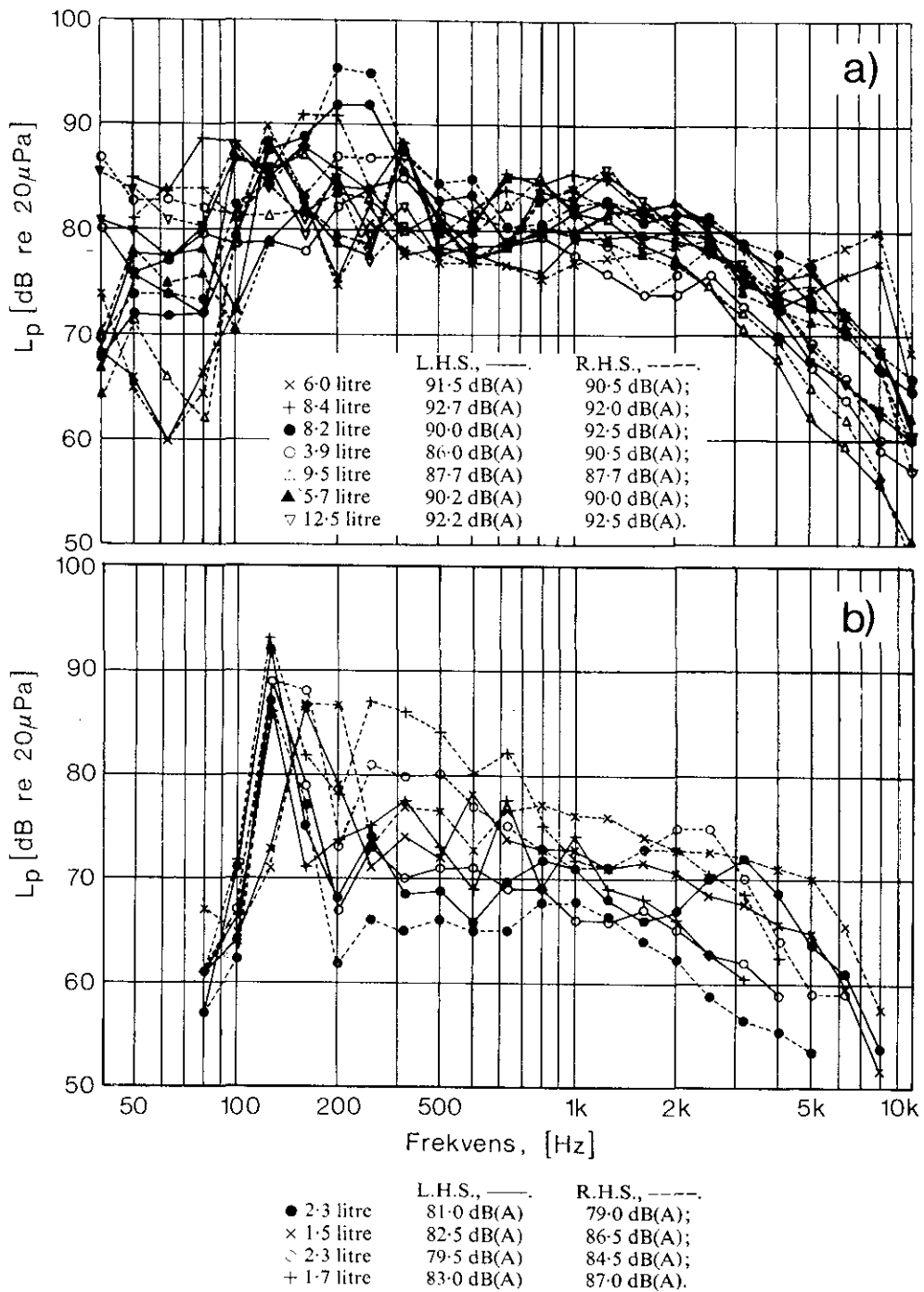


Fig. 2.3 1/3-oktav frekvensspektre af støjen fra
a) tunge lastbiler (totalvægt > 3,5 t)
b) lette last- og varebiler (totalvægt < 3,5 t)

ISO-accelerationstest (7,5 m afstand, højde 1,5 m)

L.H.S. = målt på venstre side

R.H.S. = målt på højre side

(Fra ref. [7])



2.3 Diskussion

Litteraturens oplysninger tyder på, at den frekvensmæssige sammensætning af støjen fra tunge køretøjer ikke adskiller sig væsentligt fra den frekvensmæssige sammensætning af støjen fra lette køretøjer. Der er forskelle på den typiske tidsmæssige variation af støjen, og ved lave frekvenser er der større variation fra køretøj til køretøj af støjen fra tunge køretøjer.

Den væsentligste forskel synes at være niveauforskellen. Forskellen mellem L_{Aeq} af støjen fra tunge og lette køretøjer er af ca. 10 dB.

Selve det, at der er forskel på de absolutte værdier af lydtrykniveauerne kan forklare, at støj fra tunge køretøjer ofte opleves som mere lavfrekvent end støj fra lette køretøjer. Den menneskelige hørelses vurdering af en lyds styrke (loudness) afhænger både af lydets lydtrykniveau og frekvens. Dette kan for eksempel illustreres med de såkaldte "equal-loudness" kurver, ref. [8], som er vist her som fig. 2.4.

Kurverne viser sammenhængen mellem toners frekvens/lydtrykniveau og deres subjektive hørestyrke (loudness) i phon. Kurverne illustrerer, at ved lave lydtrykniveauer er hørestyrken af toner ved lave frekvenser lille, mens en tone med højere frekvens og samme lydtrykniveau opfattes kraftigere. Ved forøgelse af lydtrykniveauet forøges hørestyrken. Forøgelsen af hørestyrken er størst ved lave frekvenser for den samme ændring (i dB) af lydtrykniveauet. Derfor er det en almindelig iagttagelse, at kraftig støj subjektivt opfattes at have et større energiindhold ved lave frekvenser end støj med et lavere lydtrykniveau. Det samme forhold gør sig antagelig gældende, når den kraftige støj fra køretøjer "lyder" mere lavfrekvent end støjen fra lette køretøjer.

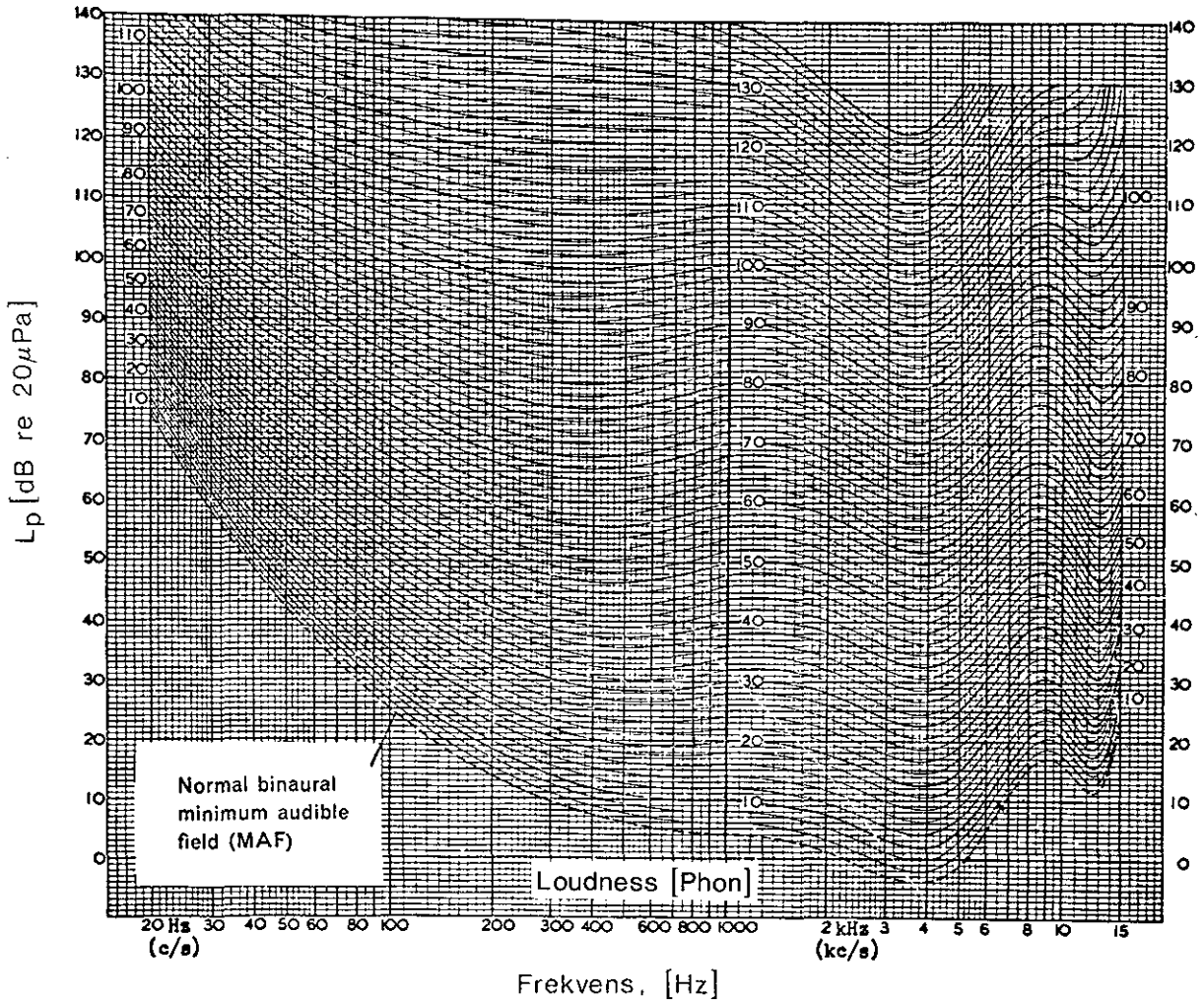


Fig. 2.4 Equal-loudness kurver, ref. [8].

Oplevelsen af trafikstøj indendørs er givetvis kraftigt påvirket af støjen fra tunge køretøjer. Den lydtrykniveauforskel, der er udendørs, kan meget vel blive accentueret indendørs. I nogle tilfælde kan man forestille sig en "tærskel-virkning": Støjen fra de tunge køretøjer bemærkes tydeligt, mens støjen fra de lette køretøjer i større eller mindre grad "maskeres" af baggrundsstøjen indendørs eller negligeres af andre grunde. Støjen transmitteret indendørs er generelt mere lavfrekvent end støjen udendørs, fordi vinduer mv. har en lydisolation, der vokser med voksende frekvens. Den resulterende virkning på den



oplevede grad af gene er interessant og vigtig, men uden for rammerne af nærværende projekt.

Den væsentligste fysiske forskel på støjen fra tunge og lette køretøjer er niveauforskellen. Herudover er der forskelle i den tidsmæssige variation af støjen og større individuelle variationer i støjen fra tunge end fra lette køretøjer ved lave frekvenser.

3. MÅLINGER

Den spektrale forskel mellem støjen fra lette og tunge køretøjer blev også undersøgt i to mindre måleserier: en ISO-accelerationstest (ref. [9]) og en serie målinger af støjen fra almindelig, accelererende bytrafik. Støjen blev i alle tilfælde optaget på bånd, og der blev i laboratoriet foretaget en 1/3-oktav analyse af det A-vægtede støjsignal.

3.1 ISO-accelerationstest

Lydteknisk Laboratorium udførte i 1979 for Miljøstyrelsen en undersøgelse af støjen fra tunge køretøjer (ref. [10]). Denne undersøgelse omfattede blandt andet ISO-accelerationstests af ca. 100 tunge køretøjer. En del af båndoptagelserne, nemlig den del, som blev indsamlet den 20. december 1978, hvor 20 tilfældige lastbiler udtaget af trafikken blev testet, blev re-analyseret i denne undersøgelse. Den A-vægtede støjdosis, L_{AE} , blev bestemt pr. 1/3-oktav for passage af hver enkelt lastbil som middelværdi af to målinger, henholdsvis 7,5 m til højre og til venstre for centerlinien. Disse 20 A-vægtede middelspektre er gengivet i Appendix A. I fig. 3.1 er energimiddelværdien $\overline{L_{AE}}$ af samtlige spektre gengivet.

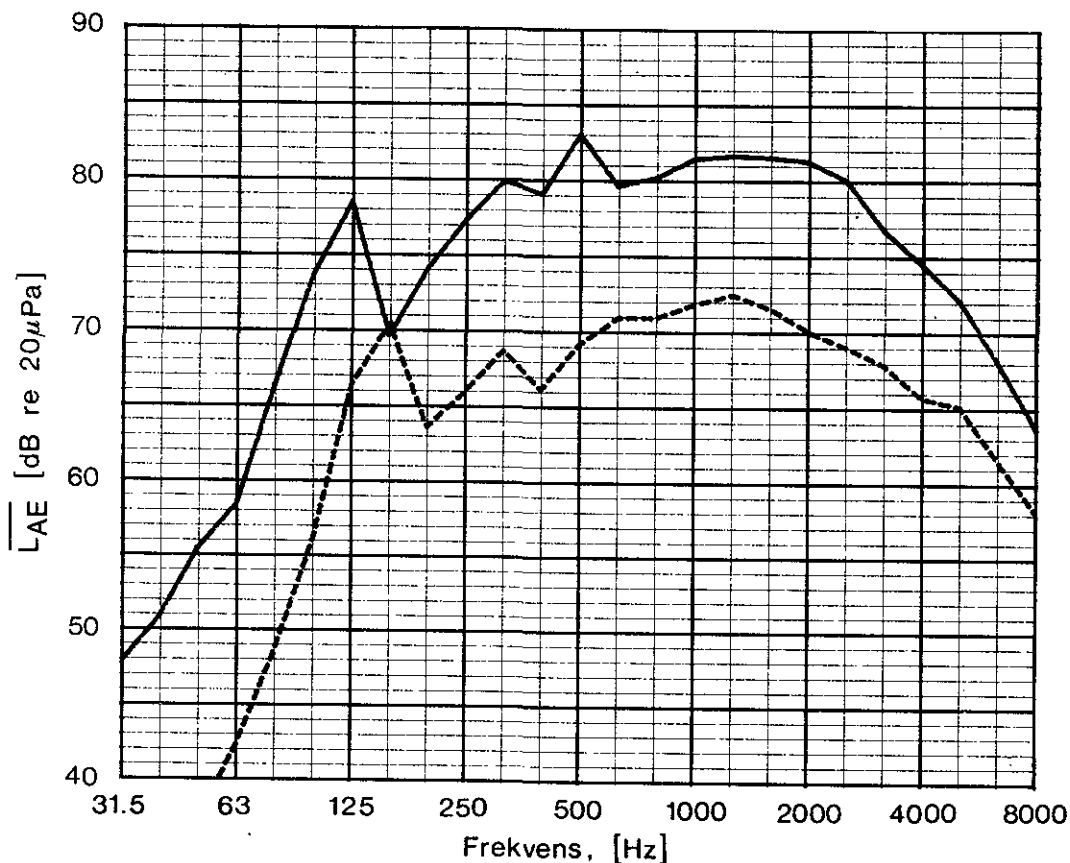


Fig. 3.1 Energimiddelværdi af L_{AE} pr. 1/3 oktav - ISO-accelerationstest.

— tunge, $N = 20$, $L_{AE} = 91,8$ dB re 20 μ Pa
 --- lette, $N = 10$, $L_{AE} = 81,6$ dB re 20 μ Pa

I fig. 3.1 er endvidere gengivet et tilsvarende middelspektrum for lette køretøjer. Dette er middelværdien af L_{AE} (midlet for højre og venstre side) for ISO-accelerationstest udført i august 1985 på 10 almindelige ibrugtagne mindre personbiler tilhørende de ansatte ved Lydteknisk Institut (heraf en bil med dieselmotor). De enkelte L_{AE} -spektre er vist i Appendix A.

Ved sammenligning af middelspektrene i fig. 3.1 ses, at $\overline{L_{AE}}$ pr. 1/3-oktav for de tunge køretøjer var ca. 10 dB større end for de lette. Dette gælder i frekvensområdet over 200 Hz. På grund



af den kraftige acceleration har begge spektre en kraftig komponent ved den maksimale tændfrekvens. Denne lå for personbilerne i 160 Hz 1/3-oktaven (svarende til ca. 4800 omdrejninger pr. minut for en 4-takts motor med 4 cylindre). For lastbilerne lå tændfrekvensen i middel i 125 Hz 1/3-oktaven (svarende til 2500 min^{-1} for 6-cylindrede 4-takts motorer). I 1/3-oktaven ved 160 Hz var lydtrykniveauet af støjen fra lette og tunge køretøjer derfor næsten ens. Ved 100 Hz og derunder var $\overline{L_{AE}}$ for de tunge køretøjer derimod 15-18 dB større end for de lette køretøjer. Desuden var forskellen mellem L_{AE} fra tunge og lette køretøjer ved 2-2,5 kHz et par dB større end i resten af frekvensområdet over 500 Hz. I litteraturen angives forklaringen på dette at være den karakteristiske diesellyd.

En sammenligning af de individuelle L_{AE} -spektre (Appendix A) viste, at spektrene for de tunge køretøjer havde en noget større spredning end spektrene for de lette køretøjer. Specielt var spredningen stor ved lave frekvenser (500 Hz og derunder). Dette kan muligvis forklares ved forskelle i udstødningssystemerne (f.eks. forskellige rørlængder). En anden forklaring kan være forskellige motortyper, jf. afsnit 2.1.

Sammenligningen baseret på et ret begrænset antal lastbiler i brug i 1978 og et begrænset antal mindre personbiler i brug i 1985 viser samme tendens som resultaterne fra litteraturen, jf. afsnit 2.3.

3.2 Accelererende bytrafik

En serie orienterende målinger blev foretaget på fem forskellige steder i København. Målingerne blev foretaget i nærheden af lyssignaler på veje med stærk, tung trafik. Målingerne omfattede grupper af lastbiler eller personbiler, som accelererede forbi mikrofonen kort efter, at lyssignalet var skiftet til grønt. På båndoptagerens kommentarspor indtaltes antallet og arten af passerende køretøjer. Analyserne omfattede kun perioder med enten udelukkende lastbiler eller udelukkende personbi-



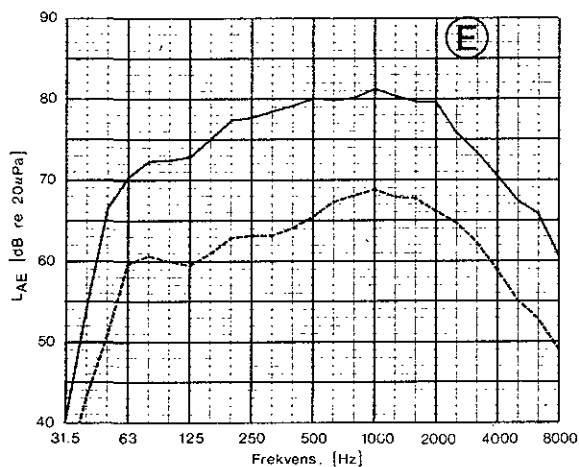
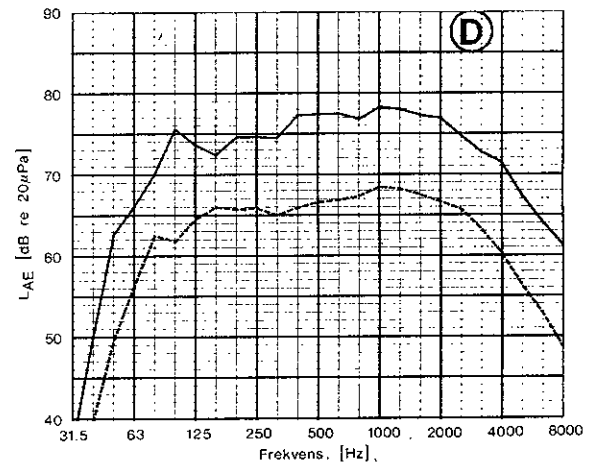
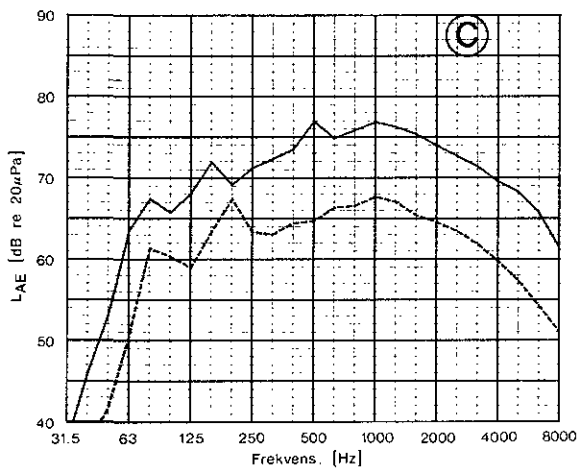
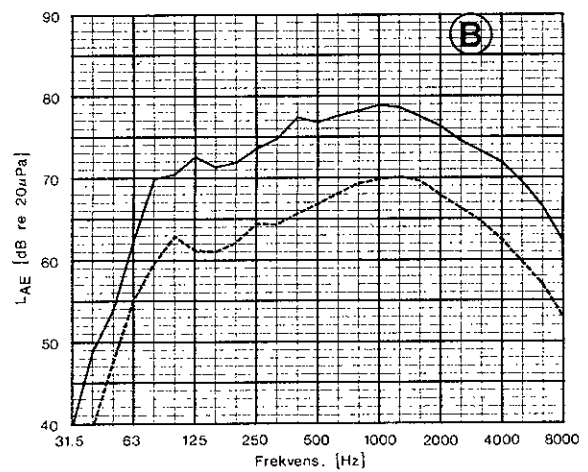
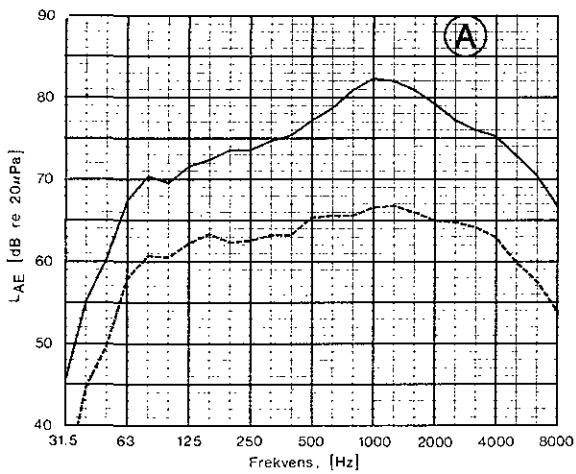
ler. Hvert af de målte A-vægtede støjdosispektre blev korrigeret til at gælde ét køretøj ved addition af $-10 \log N$, hvor N er antallet af køretøjer medtaget i analysen. Forskellen, ΔL_{AE} , mellem L_{AE} for én lastbil og én personbil er angivet i Appendix B. Heri er de øvrige målebetingelser også beskrevet kortfattet.

ΔL_{AE} var i gennemsnit 11 dB ved denne måleserie.

Fig. 3.2 viser for hvert målested den A-vægtede støjdosis, L_{AE} , pr. 1/3 oktav, korrigeret til ét køretøj af hver art.

Spektrene i fig. 3.2 fra forskellige målesteder bør på grund af de forskellige målebetingelser ikke sammenlignes direkte. En sammenligning mellem 1/3-oktavspektrene for lastbiler og personbiler fra hvert enkelt målested viser, at spektrenes form stort set er ens. Der ses, som ved ISO-testen, nogle afvigelse ved 100-200 Hz, som må tilskrives forskelle i motorstøjen (forskellig tændfrekvens).

Den udbredte opfattelse, at støj fra tunge køretøjer er særligt lavfrekvent, kan måske i nogen grad bero på støjens særlige karakter inden for korte tidsrum. Dette blev forsøgt belyst kvantitativt i en pilotundersøgelse ved måling af løbende korttidspektre af støjen. Fra nogle båndoptagelser af vejtrafikstøj nær veje med en stor andel af tunge køretøjer blev udvalgt perioder, hvori støjen var domineret af accelererende lastbiler. For disse perioder af 15 s - 20 s varighed blev A-vægtede 1/3-oktavspektre bestemt med en integrationstid på 1 s. Afbildninger af disse sæt af 15-20 løbende $L_{Aeq, 1s}$ -spektre gav imidlertid ikke noget entydigt billede. Systematiske undersøgelser ved denne metode blev derfor opgivet. Pilotundersøgelsen viste dog, at støjen fra accelererende tung trafik kan indeholde så kraftige komponenter i ét eller to 1/3-oktavnåb under 125 Hz, at disse komponenter er dominerende for den totale værdi af L_{Aeq} over 1 s. Der var oftest tale om 80 Hz eller 100 Hz 1/3-okta-



Målested:

- A. Gl. Køge Landevej / Følager
- B. Sjællandsbroen / Sluseholmen
- C. Vejlands Allé / Englandsvej
- D. Vigerslevvej / Havebo
- E. Tomsgårdsvej / Frederiksborg Vej

Fig. 3.2 A-vægtet støjdosis (L_{AE}) pr. 1/3 oktav pr. køretøj for hvert målested.

— lastbil(er)

--- personbil(er)



ven, men dominerende bidrag til $L_{Aeq,1s}$ blev fundet helt ned til 40 Hz 1/3-oktaven. Der blev derfor foretaget en mere præcis undersøgelse af, om kraftige lydtrykniveauer ved lave frekvenser forekom relativt hyppigere i støj fra lastbiler end i støj fra personbiler.

I oktavbåndene ved 31,5 Hz, 63 Hz og 125 Hz blev den statistiske fordeling af støjen målt dels for en periode med accelererende lastbiler og dels for en periode med accelererende personbiler. To båndoptagelser af henholdsvis 15 s og 20 s varighed fra målestedet ved Sjællandsbroen / Sluseholmen blev brugt ved denne analyse. Resultaterne er vist i fig. 3.3. Figuren viser for oktavbåndene ved 31,5 Hz, 63 Hz og 125 Hz den kumulative fordeling af lydtrykniveauet (målt med en integrationstid på 100 ms) afbildet relativt til L_{eq} i det pågældende oktavbånd. Hver kurve viser således den procentdel af måletiden, hvori oktavbåndsniveauet ($L_{p,100ms}$) overskred L_{eq} -værdien i det pågældende oktavbånd med en given værdi.

Det ses af fig. 3.3, at ved 31,5 Hz er forholdet mellem $L_{p,100ms}$ og L_{eq} -værdien fordelt på samme måde for person- og lastbiler. For 63 Hz og 125 Hz oktaverne var spredningen af oktavbåndsniveauerne derimod væsentligt større for lastbiler end for personbiler. Specielt forekom der i støjen fra lastbiler ved 63 Hz og 125 Hz med lave hyppigheder (5-10%) overskridelser på 5-10 dB i forhold til L_{eq} -værdierne. For personbiler var de tilsvarende overskridelser kun halvt så store i de to oktavbånd.

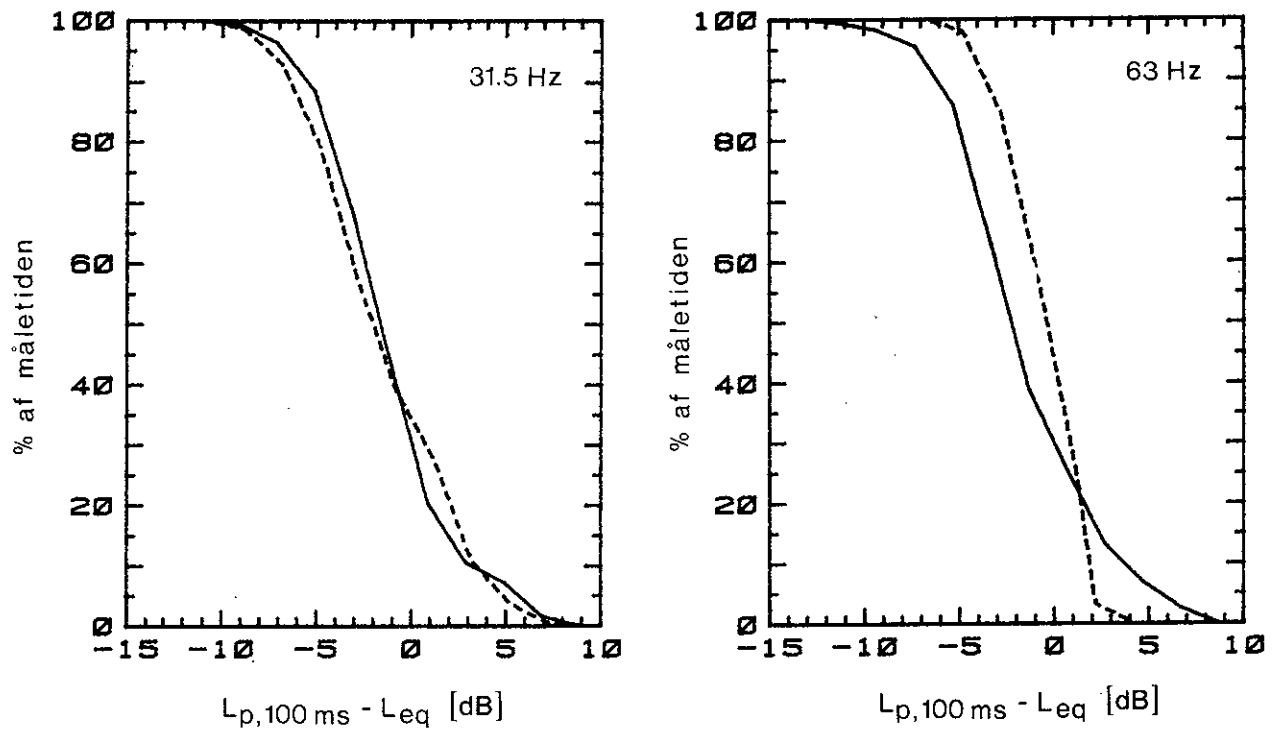
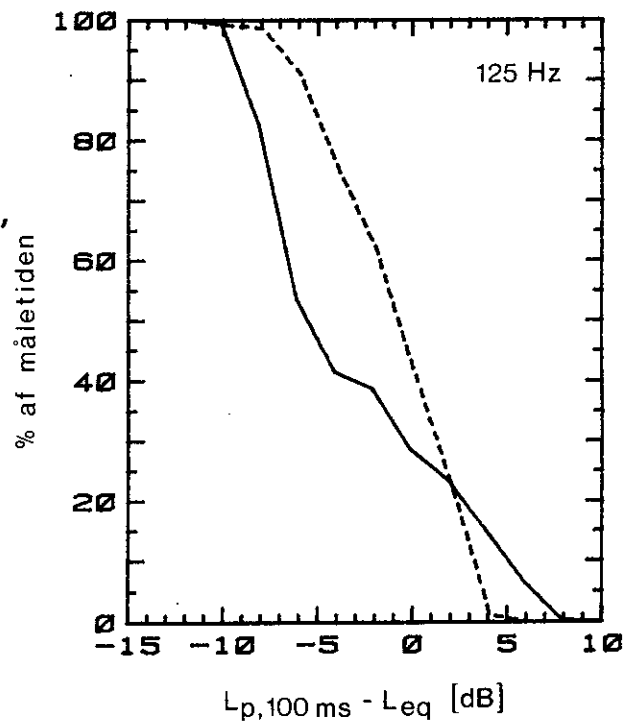


Fig. 3.3

Procentdel af måletiden, hvori oktavbåndsniveauet af støjen minus L_{eq} -værdien overskred en given værdi. Samlet måletid: 15 s - 20 s, integrationstid 100 ms (målested B).

— lastbiler
 ---- personbiler





4. KONKLUSIONER

Den væsentligste fysiske forskel på støjen udendørs fra lette og tunge køretøjer er forskellen i det totale støjniveau. Middelværdien over en vis, ikke for kort tid, L_{Aeq} , er for tunge køretøjer ca. 10 dB større end for lette køretøjer. Denne forskel er stort set frekvensuafhængig. Dette er tilsyneladende i modstrid med den umiddelbare fornemmelse, mange mennesker giver udtryk for, nemlig at støjen fra tunge køretøjer er særlig lavfrekvent. På grund af den større andel biler med dieselmotorer i gruppen af tunge køretøjer er lydtrykniveauet i oktaven omkring 2 kHz - den karakteristiske diesellyd - relativt kraftigere (1-2 dB) end i støjen fra lette køretøjer. Støjen fra tunge køretøjer er altså snarere mere højfrekvent end støjen fra lette køretøjer.

Betragtes specielt den lavfrekvente del af støjen fra tung og let trafik ses, at den tunge trafik ikke giver anledning til specielt kraftig støj ved lave frekvenser. Dette gælder ved sammenligning af L_{eq} -værdien af støjen i de laveste relevante 1/3-oktavnåbånd (25 Hz - 160 Hz) målt såvel ved ISO-accelerationstest som ved almindelig accelererende bytrafik. Både målinger og referencer understøtter denne konklusion.

Korttidsvariationerne af det totale A-vægtede lydtrykniveau med tidskonstant F er betydeligt mindre for accelererende tung trafik end for accelererende let trafik. Dette skyldes især det begrænsede variationsområde af omdrejningstallet for tunge køretøjers motorer. For den lavfrekvente del af støjen (63 Hz og 125 Hz oktaverne) er tendensen omvendt. Støjen fra tung trafik viser større kortvarige variationer end støjen fra lette køretøjer.

Når støjen fra tunge køretøjer ofte beskrives som mere lavfrekvent end støjen fra lette køretøjer, kan der på grundlag af de foretagne undersøgelser foreslås to mulige forklaringer:



- Det forhold, at støjen fra tunge køretøjer er omkring 10 dB kraftigere end støjen fra lette køretøjer, bevirker i forbindelse med den menneskelige hørelses vurdering af lydstyrke (loudness), at støjen opfattes som mere lavfrekvent.
- Støjen fra tunge køretøjer udviser kortvarigt høje lydtrykniveauer ved lave frekvenser (63 Hz og 125 Hz okta-verne), mens dette ikke er tilfældet for støjen fra lette køretøjer. Forekomsten af den kortvarige kraftige støj er ikke så hyppig, at fænomenet afspejler sig i middelværdier af støjen over 1 minut eller længere.

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at afgøre om en af de to forklaringer er "den rigtige".

Et mere væsentligt problem at afklare er imidlertid, hvorfor støj fra tunge køretøjer tilsyneladende har en stor virkning på den oplevede grad af gene fra trafikstøj. I enkelte undersøgelser af beboeres reaktioner på trafikstøj er der fremkommet resultater, som tyder på, at andelen af tunge køretøjer har større indflydelse på den oplevede gene end på L_{Aeq} af støjen.

Hvis fremtidige undersøgelser kan underbygge og belyse sammenhængen mellem tung trafik og gene, er det af største betydning desuden at afdække

- om måle- og beregningsmetoder kan udformes eller korrigeres på en måde, så resultaterne er bedre egnede til at udtrykke trafikstøjgenen;
- på hvilken måde genen fra tunge køretøjer reduceres.

Det har ikke været opgaven inden for dette delprojekt at undersøge genen af trafikstøj.



APPENDIX A

Måleresultater fra ISO-accelerationstest

Den A-vægtede støjdosis (LAE) pr. 1/3-oktav er i fig. A.1a-e vist for nogle ibrugtagne lastbiler og i fig. A.2a-c for nogle ibrugtagne personbiler. Spektrene er middelværdier af målinger 7,5 m til højre og venstre for centerlinien ved en ISO-accelerationstest, jf. afsnit 3.1.

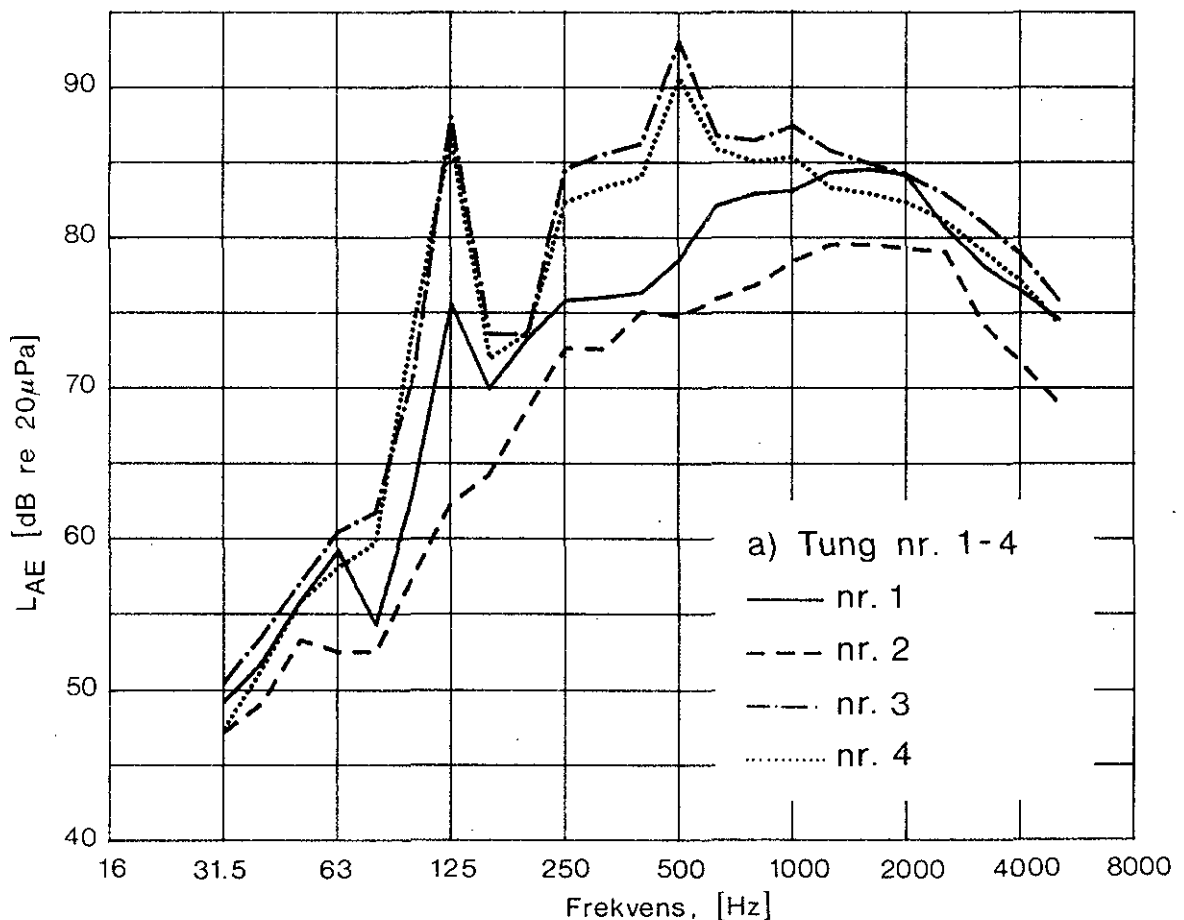


Fig. A.1 a) LAE pr. 1/3-oktav for 4 lastbilspassager ved ISO-accelerationstest.

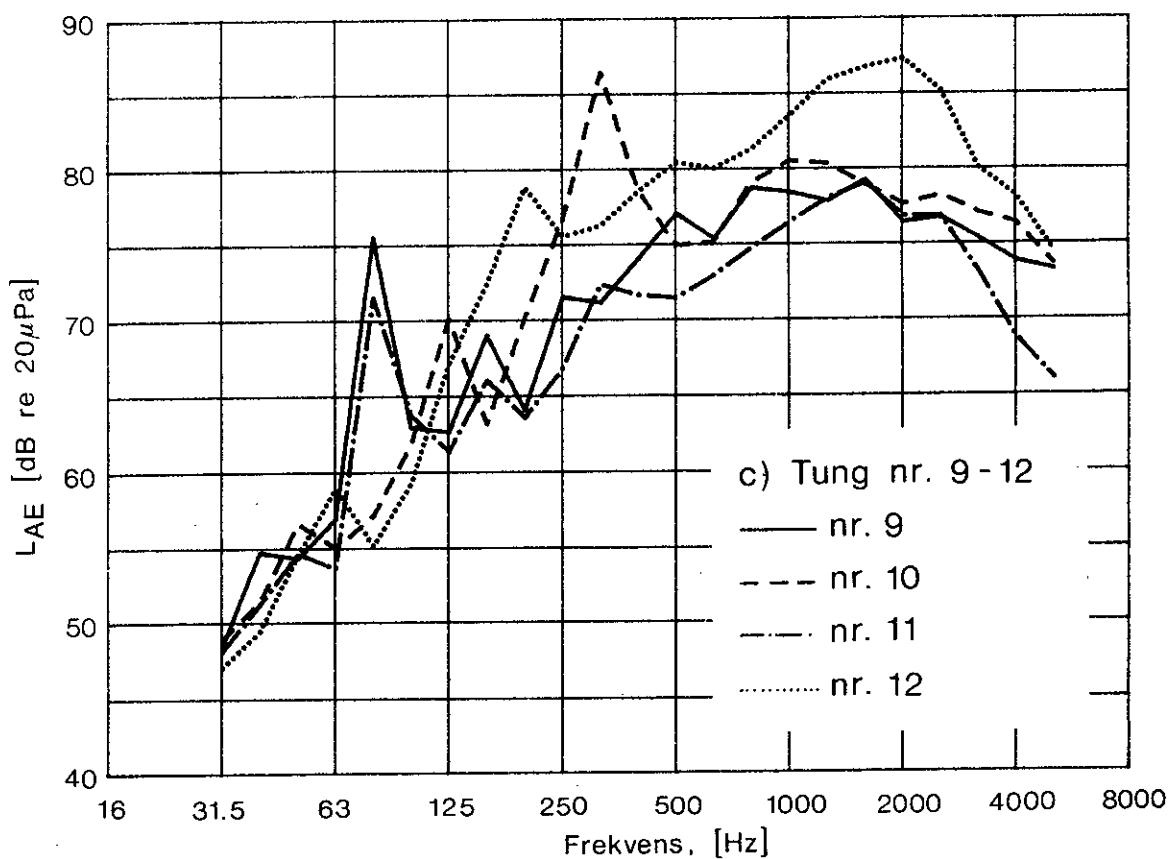
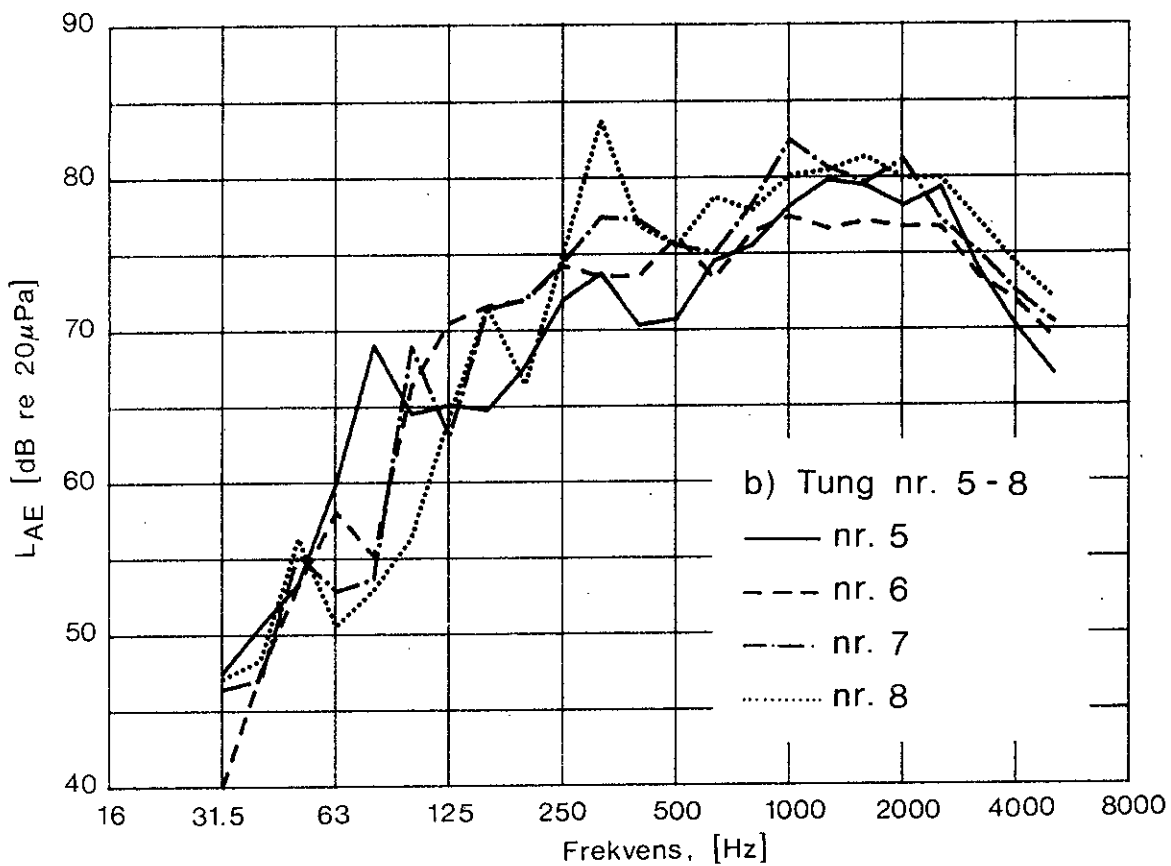


Fig. A.1 b)-c) LAE pr. 1/3 oktav for 8 lastbilspassager ved ISO-accelerationstest.

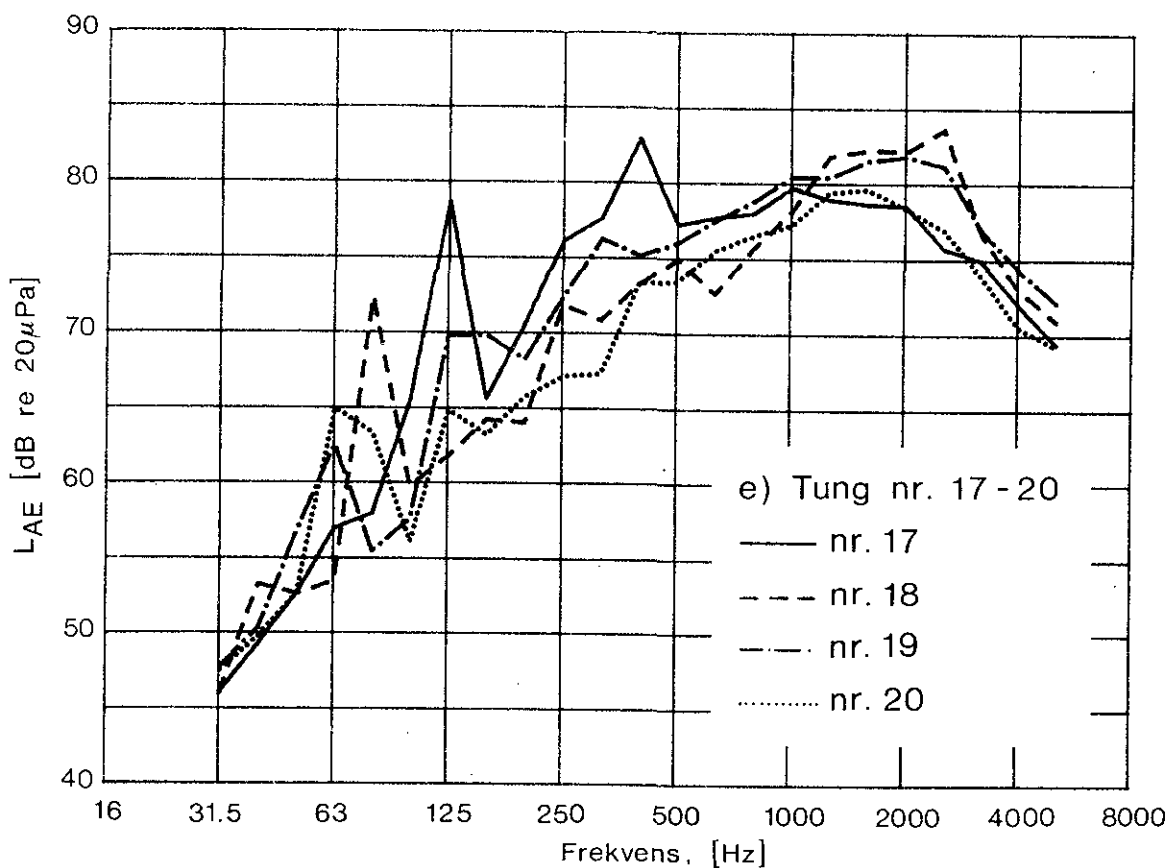
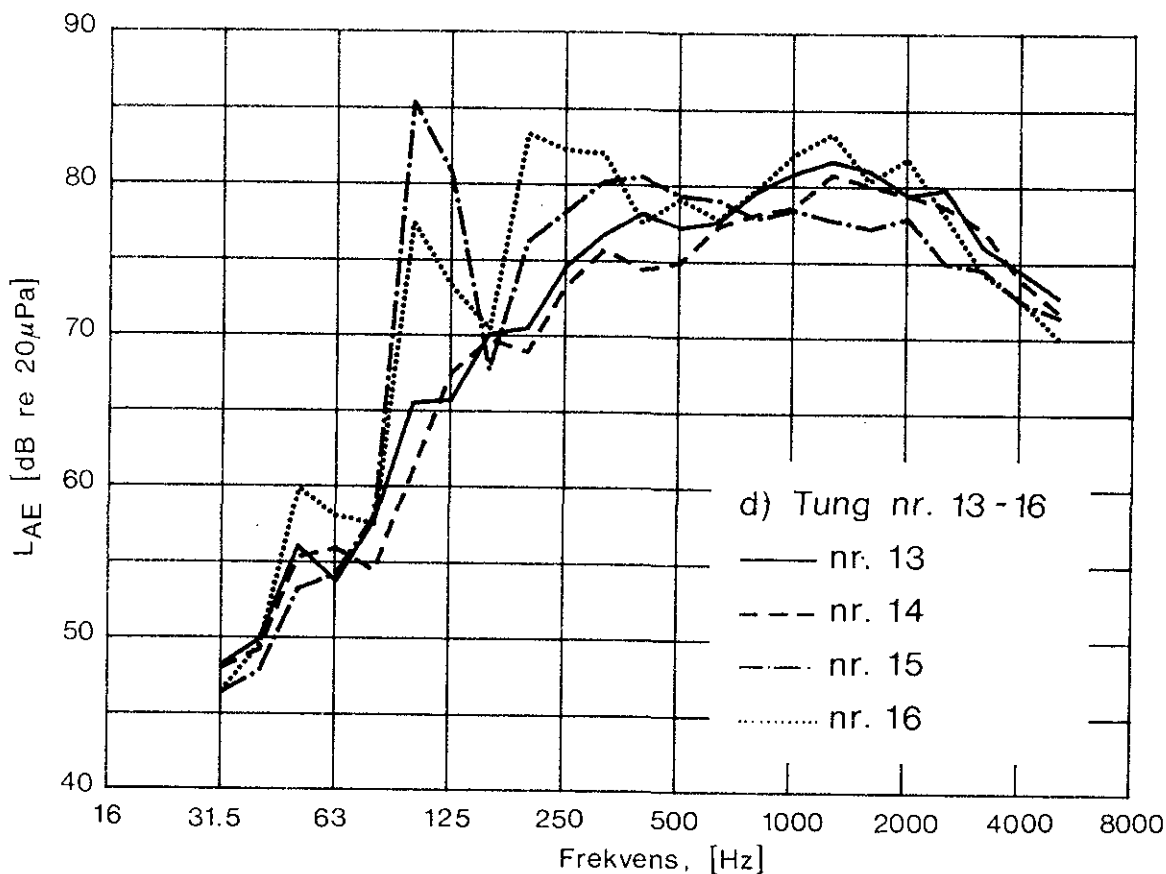


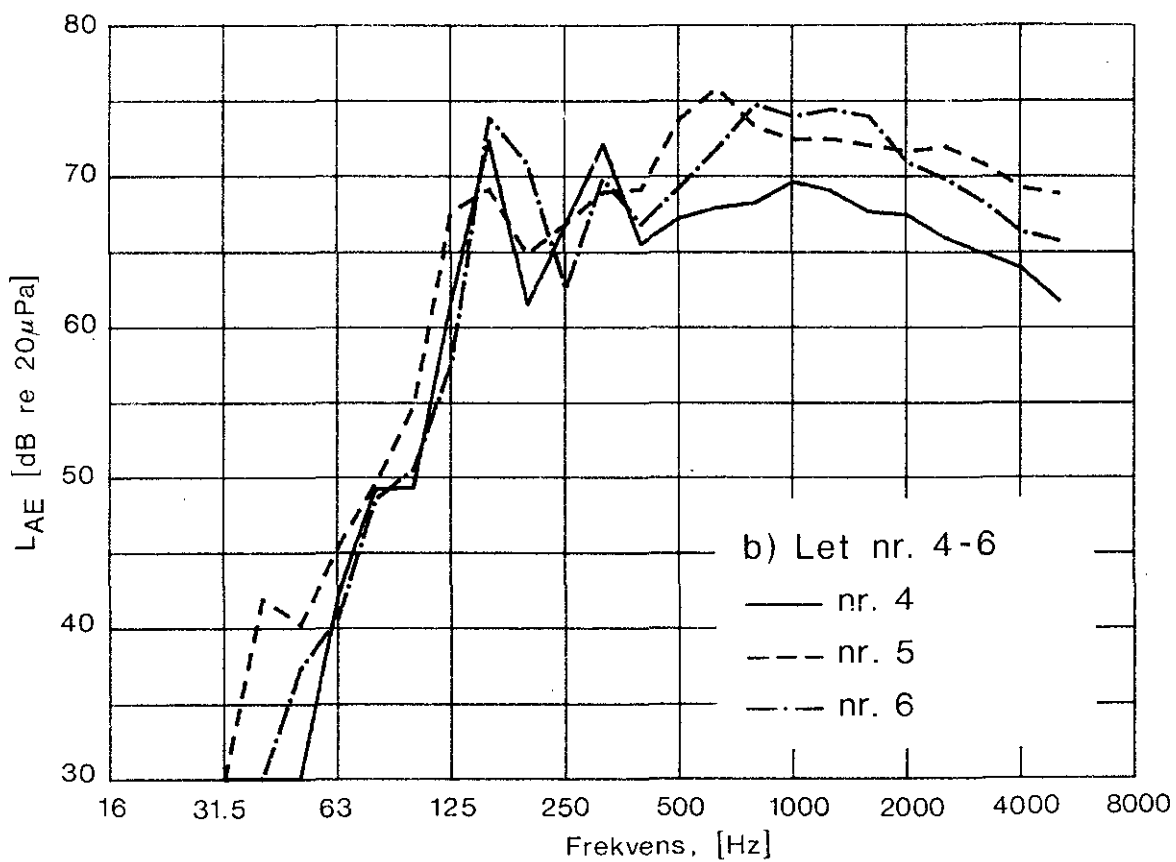
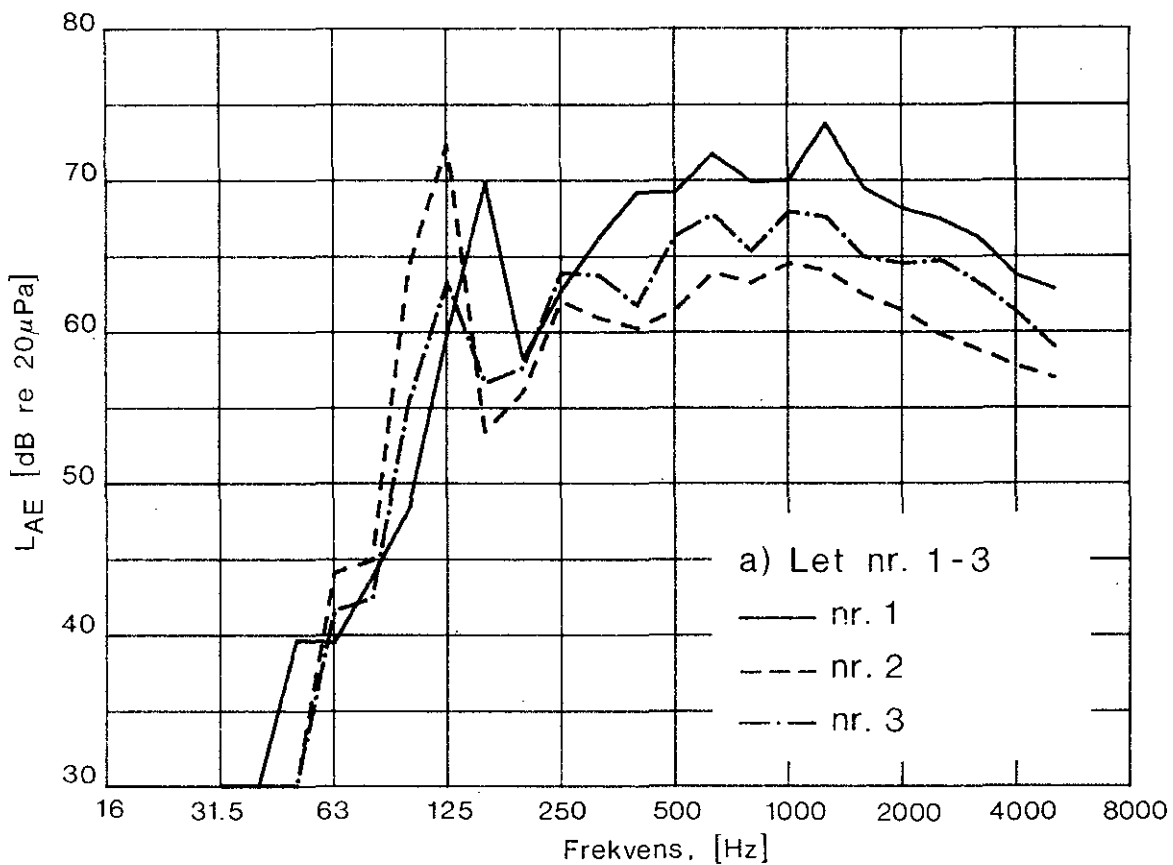
Fig. A.1 d)-e) L_{AE} pr. 1/3-oktav for 8 lastbilpassager ved ISO-accelerationstest.



I tabel A.1 er givet en oversigt over fabrikat, type, årgang, kilometerstand, totalvægt og motoreffekt for hver enkelt lastbil, samt om motoren var turboladet eller ikke.

Fabrikat og type	Årgang	Km x 1000	Total vægt [t]	Motor-effekt [kW]	Turbo
1 Mercedes 2224	1974	105	20,5	240	÷
2 Mercedes 913	1976	13	9	130	÷
3 Scania 111 (4.gear)	1975	163	29,5	300	+
4 Scania 111 (5.gear)	1975	163	29,5	300	+
5 Volvo F613	1978	1	6	180	+
6 Volvo F613	1976	114	12,3	?	+
7 Scania 80	1974	35	16	200	+
8 Ford D1210	1974	85	12	104	÷
9 Ford D810	1973	170	7,5	80	÷
10 Volvo F88	1967	367	22	260	+
11 Ford D607	1967	350	6	80	÷
12 Fiat 159	1978	19	16	201	÷
13 Volvo F84	1972	200	12	150	+
14 Mercedes 1113	1976	92	11	130	?
15 Scania 85	1974	156	22	200	+
16 Scania 81	1977	?	14	163	÷
17 Scania 80	1974	160	14	205	+
18 Volvo F407	1976	51	7	80	÷
19 Bedford TK 1020	1977	49	10	100	÷
20 Fiat 65 F10	1978	64	6	100	÷

Tabel A.1 Oversigt over data for lastbiler. Måling: 1978.



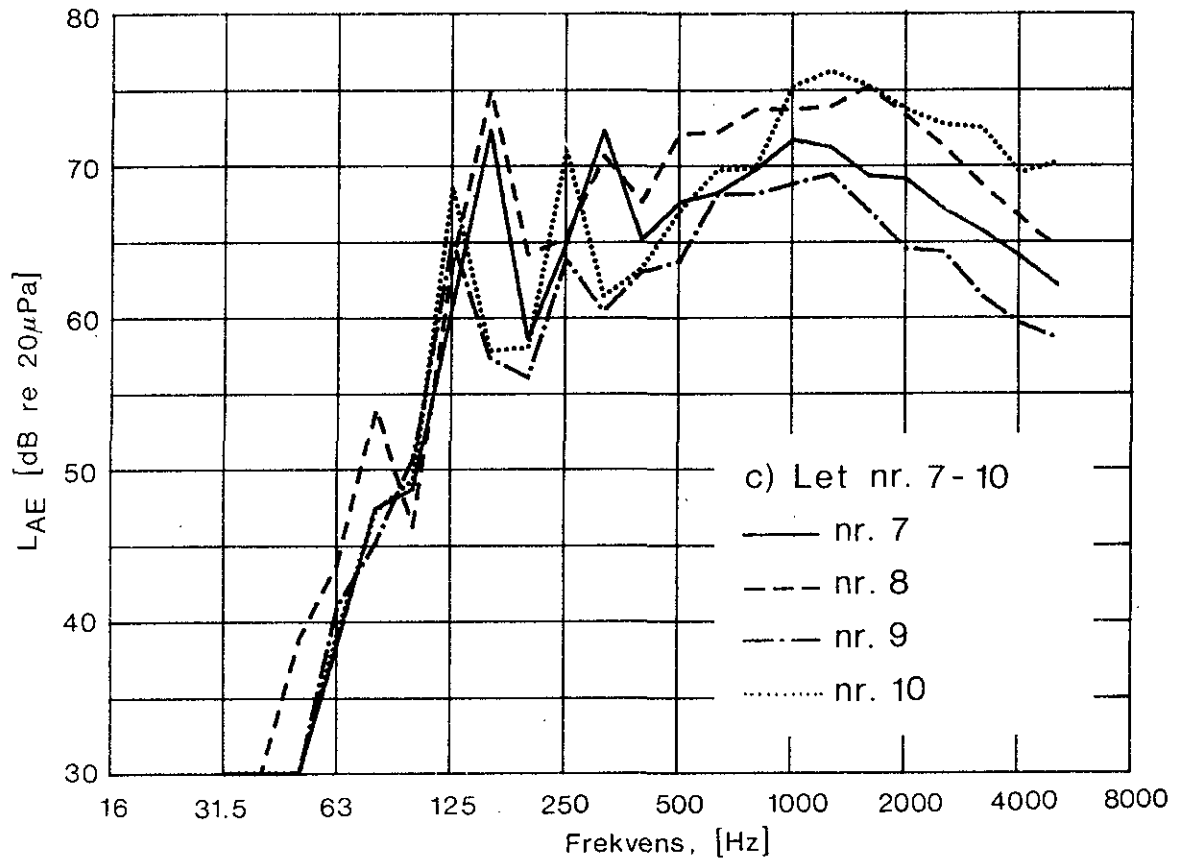


Fig. A.2 a)-c) L_{AE} pr. 1/3-oktav for 10 personbilspassager ved ISO-accelerationstest.



I tabel A.2 er gengivet fabrikat, type, årgang, motoreffekt og antal gear for de personbiler, der indgik i måleserien i 1985.

Fabrikat og type	Årgang	Motor-effekt [kW]	Antal gear
1 Toyota Corolla 1300 DX	1983	51	4f
2 Mazda 323 1300	1984	50	5f
3 Lada 1200 S	1979	44	4f
4 Talbot Tagora GLS	1981	85	5f
5 VW Jetta CL	1985	55	4f
6 Toyota Corolla Stw DX 1.3	1985	48	5f
7 Renault 5 TL	1982	33	4f
8 Citro n GS Club	1979	44	4f
9 VW Golf D	1979	37	4f
10 Autobianchi All2	1977	31	4f

Tabel A.2 Nogle data om personbilerne.
Måling: 1985.



APPENDIX B

Måleresultater for accelererende bytrafik

I tabel B.1 er målebetingelserne opsummeret for den i afsnit 3.2 omtalte måleserie. Mikrofonhøjden var alle steder 1,5 m. Betegnelserne for de geometriske parametre fremgår af fig. B.1. Det målte antal biler betegnes N og måletiden T . For hvert målested er ΔL_{AE} beregnet ved subtraktion af L_{AE} -værdierne af støjen fra personbiler fra L_{AE} -værdierne af støjen fra lastbiler. L_{AE} er beregnet ved addition af $10 \log T/N$ til det målte L_{Aeq} .

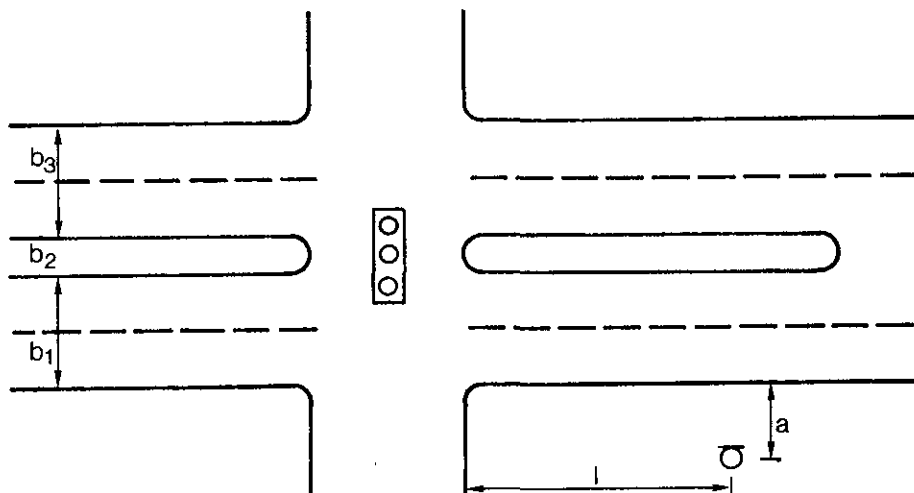


Fig. B.1 Geometriske parametre for målested (mikrofonhøjde: 1,5 m).



Målested	¹⁾ l	a	b ₁ /b ₂ /b ₃	Lastbiler		Personbiler		Δ_{LAE} [dB]
	[m]	[m]	[m]	N [-]	T [s]	N [-]	T [s]	
A Gl. Køge Landevej / Følager	-9,5	1,8	6,1/0/6,1	13	67	32	41	13,4
B Sjællandsbroen / Sluseholmen	25	3,7	10,5/3/10,2	30	87	25	39	9,2
C Vejlands Allé / Englandsvej	20	4	9,0/3,0/9,5	11	46	25	53	9
D Vigerslevvej / Havebo	4	7,6	5/0/5	5	29	18	30	9,9
E Tomsgårdsvej / Frederiksborg Vej	-5	2	13/0,4/9	10	54	30	39	13,0
							Middelværdi	10,9

Tabel B.1 Målebetingelser (jfr. fig. B.1) samt Δ_{LAE} for accelererende lastbiler og personbiler.

- 1) Positiv værdi: efter kryds; negativ værdi: før kryds.
Afstanden l blev målt fra sidegadens nærmeste kørebane kant.



REFERENCER

- [1] A.L. Brown, A. Hall, J. Kyle-Little:
"Response to a Reduction in Traffic Noise Exposure".
Journal of Sound and Vibration (1985)98(2), 235-246.
- [2] E. Relster:
"Oplevelelsesmæssige konsekvenser af støj dæmpende foranstaltninger i boligområder". København 1981.
- [3] T. Priede:
"Road Vehicle Noise", Kap. 18 i Noise and Vibration (ed. R.G. White and J.G. Walker), Ellis Horwood Ltd, Chichester, England, 1982.
- [4] K.R. Agent, C.V. Zegeer:
"Effect of Interrupted Flow on Traffic Noise". Noise Control Engineering 18(2), 1982.
- [5] B. Andersen:
"Facaders lydisolering over for vejtrafikstøj". Rapport nr. 37, Lydteknisk Laboratorium, Lyngby, 1982.
- [6] P.T. Lewis
"The Noise Generated by Single Vehicles in Freely Flowing Traffic". Journal of Sound and Vibration 30(2), 1973.
- [7] P.E. Waters:
"Commercial Road Vehicle Noise". Journal of Sound and Vibration 35(2), 1974.
- [8] ISO/R226-1961(E):
"Normal Equal-Loudness Contours for Pure Tones and Normal Threshold of Hearing under Free Field Listening Conditions".
- [9] DS/ISO 362:
"Måling af støj fra accelererende motorkøretøjer", 1984/1981.
- [10] T. Astrup:
"Måling af tunge køretøjers støjmission". Rapport nr. 21, Lydteknisk Laboratorium, Lyngby 1980.





TUNGE KØRETØJERS DELSTØJKILDER

Udarbejdet af Jørgen Jakobsen

INDHOLD

	Side
1. INDLEDNING	3
2. DELSTØJKILDER	4
2.1 Motorblok	5
2.2 Udstødning	8
2.3 Kølesystem	10
2.4 Indsugning	12
2.5 Gear og transmission	12
2.6 Rullestøj	13
3. TYSK DEMONSTRATIONSPROJEKT, MAGIRUS-DEUTZ	14
4. HT'S STØJSVAGE BYBUSSENER	17
5. KONKLUSIONER	18
6. REFERENCER	19





1. INDLEDNING

I løbet af 1970'erne varslede mange nationale og overnationale myndigheder skærpelser af det tilladelige støjniveau fra motorkøretøjer. I Danmark blev støjgrænsen for eksempelvis lastbiler med totalvægt over 3,5 t og motoreffekt under 150 kW (200 Hk) pr. 1. oktober 1982 sænket fra 89 dB til 86 dB, som følge af en EF-vedtagelse. Tilsvarende ændringer blev gennemført for alle andre kategorier af køretøjer. Det er endvidere planlagt omkring 1990 at sænke støjgrænserne yderligere, eksempelvis for lastbiler med totalvægt over 3,5 t og motoreffekt under 150 kW til 83 dB.

I den samme periode blev der i flere lande gennemført demonstrationsprojekter, hvor bilfabrikker med forskellige former for offentlig støtte udviklede støjssvage, tunge køretøjer.

Især i de vesttyske projekter, støttet af Umweltbundesamt og udført hos Magirus-Deutz, Daimler-Benz, MAN, VW m.fl., er der opnået meget overbevisende resultater. I U.S.A. blev en tilsvarende række projekter udført med støtte fra Environmental Protection Agency. Andre projekter blev gennemført bl.a. i England og i Holland.

Herhjemme har HT's indkøbspolitik bevidst indeholdt stadig skærpede støjkraV, og støjen fra de nye HT-busser er på niveau med resultaterne fra de bedste udenlandske demonstrationsprojekter.

I forbindelse med disse projekter er der indsamlet en betydelig viden om delstøjkilder på tunge køretøjer. Det er imidlertid vanskeligt at resumere denne viden så håndfast, at resultatet bliver direkte anvendeligt. Årsagen hertil er i første række, at de undersøgte og modificerede køretøjer har forskellig konstruktion, men også den forskelligartede rapporteringsform og det i almindelighed ringe dokumentationsniveau af projekterne har en del af skylden.



I det følgende vil de mest betydende delstøjkilder blive beskrevet, og den kvalitative virkning af relevante støjdæmpende foranstaltninger vil blive belyst. Desuden vil et eksempel på en støjdæmpet lastbil fra et vesttysk demonstrationsprojekt blive gennemgået, og HT's erfaringer med og specifikationer til støjsvage bybusser vil blive behandlet.

2. DELSTØJKILDER

I almindelighed kan støjen fra tunge køretøjer adskilles i rullestøj, som især hidrører fra kontakten mellem dæk og vejbelægning, og motorstøj, som på forskellig måde hidrører fra fremdrivningssystemet.

I forbindelse med analyse af mulighederne for støjdæmpning opdeles motorstøjen yderligere. De delstøjkilder, som normalt er mest betydende, er:

- motorblok
- udstødning
- kølesystem (ventilator)
- indsugning
- gear og transmission

Denne opdeling er anvendt i de fleste rapporterede demonstrationsprojekter, som har omhandlet sættevognstrækkere, bybusser og rutebiler, lukkede varevogne, terrængående åbne lastvogne og almindelige lukkede lastvogne (kassevogne).

Andre udgaver af tunge køretøjer kan have andre støjkilder, men normalt vil de 5 nævnte delstøjkilder være de dominerende.

For tunge køretøjer med forskellige hjælpeaggregater (kølemaskiner, skrald-komprimering, m.v.) vil støjbidraget fra disse i mange tilfælde være betydeligt.



2.1 Motorblok

Motorblokstøjen frembringes af vekselkræfter og slag inde i motoren og transmitteres til dens samlede overflade som strukturstøj. Støjen udstråles fra motorblokkens overflade og især fra dele, som er konstrueret af tyndplade med lille dæmpning (f.eks. bundkar).

På grund af en stor tæthed af egenfrekvenser i frekvensområdet 800 - 3000 Hz er motorblokstøjen mest fremtrædende i dette område.

I Figur 1 nedenfor er 3 af delkildernes bidrag til totalstøjen ved en forbikørselsmåling illustreret. Under målingen kørte en lastbil forbi mikrofonen i 15,24 m afstand med maksimal acceleration i lavt gear. Resultaterne for de enkelte delkilder blev opnået ved trinvis dæmpning af de øvrige delkilder [1]. Det fremgår, at køleventilatoren i dette tilfælde er den mest betydende delstøjkilde, mens udstødningen dominerer ved lave frekvenser.

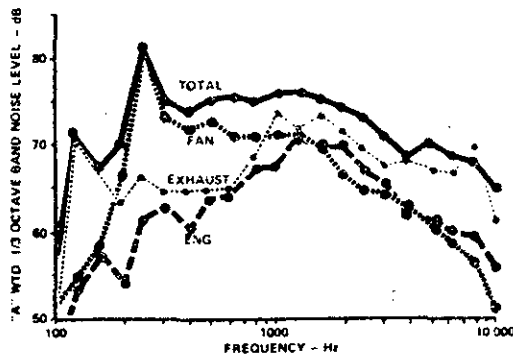


Fig. 1. Totalstøj og delkildebidrag ved forbikørselsmåling i 15,24 m afstand. A-vægtede 1/3-oktav spektre, dB re 20 μ Pa.

De kræfter, som især er ansvarlige for motorblokstøjen, er:

- Vekseltryk på cylindervæggene fra forbrændingsprocessen,



- stemplernes sidelæns anslag mod cylindervæggen under første del af returslaget ("piston slab"),
- vekselkræfter fra stempler via plejlstænger, krumtap og hovedlejer,
- ventilernes lukkeslag.

Motorblokstøjen tiltager lidt med stigende motoreffekt, og den tiltager stærkt med voksende omdrejningstal. Den udvikling, der er foregået for automobil-dieselmotorer hen imod mindre og lettere motorer med højt omdrejningstal, har altså bevirket en forøgelse af støjen. En empirisk formel, som angiver denne sammenhæng, er:

$$L_{pA} \propto 10 \log P + 30 \log N,$$

hvor

L_{pA} er det A-vægtede lydtrykniveau af motorblok-
P er motoreffekten og støjen
N er omdrejningstallet.

Støjen afhænger desuden af motorens forbrændingsprincip; turboladede motorer støjer 2-5 dB mindre end tilsvarende motorer med direkte indsprøjtning og samme effekt [2-10].

Ved at konstruere en motor med særligt henblik på at minimere støjstrålingen er der i forskellige forskningsprojekter opnået en reduktion af denne på 2-5 dB [9, 10]. I disse projekter blev motorens kraftbærende dele afstivet eller forstærket, og de ikke-kraftbærende dele blev svingningsdæmpet eller -isoleret. Da de kræfter, der frembringer motorblokstøjen, også bevirker motorsliddet, stilles der i en række referencer forhåbninger til fremtidens motordesign. Det forventes således, at de kommende generationer af dieselmotorer vil være mere støjsvage og have længere levetid end de nuværende [bl.a. 11].



Det er ikke muligt at kvantificere den forventede støjreduktion, men ud fra de nuværende erfaringer forekommer det ikke realistisk at forvente, at fremtidige seriefremstillede motorer vil være mere end 5 dB støjdedæmpede i forhold til de nuværende seriefremstillede motorer af samme type.

En anden form for konstruktiv støjdedæmpning, som bl.a. er anvendt i de vesttyske demonstrationsprojekter, består i at nedsætte motorens omdrejningstal og kompensere effekttabet med "mild" turboladning [12, 14]. Herved er der rapporteret om ca. 5 dB støjdedæmpning.

For at opnå en tilstrækkelig støjdedæmpning i forhold til de definerede målsætninger har det i samtlige demonstrationsprojekter været nødvendigt at indkapsle motorblokken. Ved en indkapsling aflukkes motorrummet helt tæt til alle sider, og til- og fraledning af køleluft sker igennem lydsluger. Indkapslingen udføres normalt oplukkelig, så motoren kan serviceres, og der monteres lydabsorberende materiale på de overflader, hvor det er muligt. Der stilles store krav til indkapslingselementernes mekaniske egenskaber, dels for at de skal virke tilstrækkeligt lyddæpende, og dels fordi elementerne selv efter lang tids brug skal slutte tæt til hinanden. I en anden form for indkapsling - snæver indkapsling - monteres elementerne hele vejen rundt om motorblokken i få cm afstand.

Afhængigt af indkapslingens udførelse og af, hvor mange motordele der kommer med ind i indkapslingen, kan dens støjdedæpende virkning være mellem ca. 4 og 14 dB på den A-vægtede motorblokstøj [3, 4, 7, 8, 11-19]. Ved indkapsling dæmpes støjen mest ved høje frekvenser, over ca. 200 Hz.

Det konkluderes,

- at indkapsling af motoren kan udføres på køretøjer i serieproduktion for en merpris på typisk omkring 5%,



- at indkapsling ikke behøver at medføre temperaturforøgelse i motoren,
- at indkapsling ikke behøver at medføre forringet servicevenlighed for motoren,
- at indkapsling kan udføres med en tilstrækkelig stabilitet og holdbarhed.

2.2 Udstødning

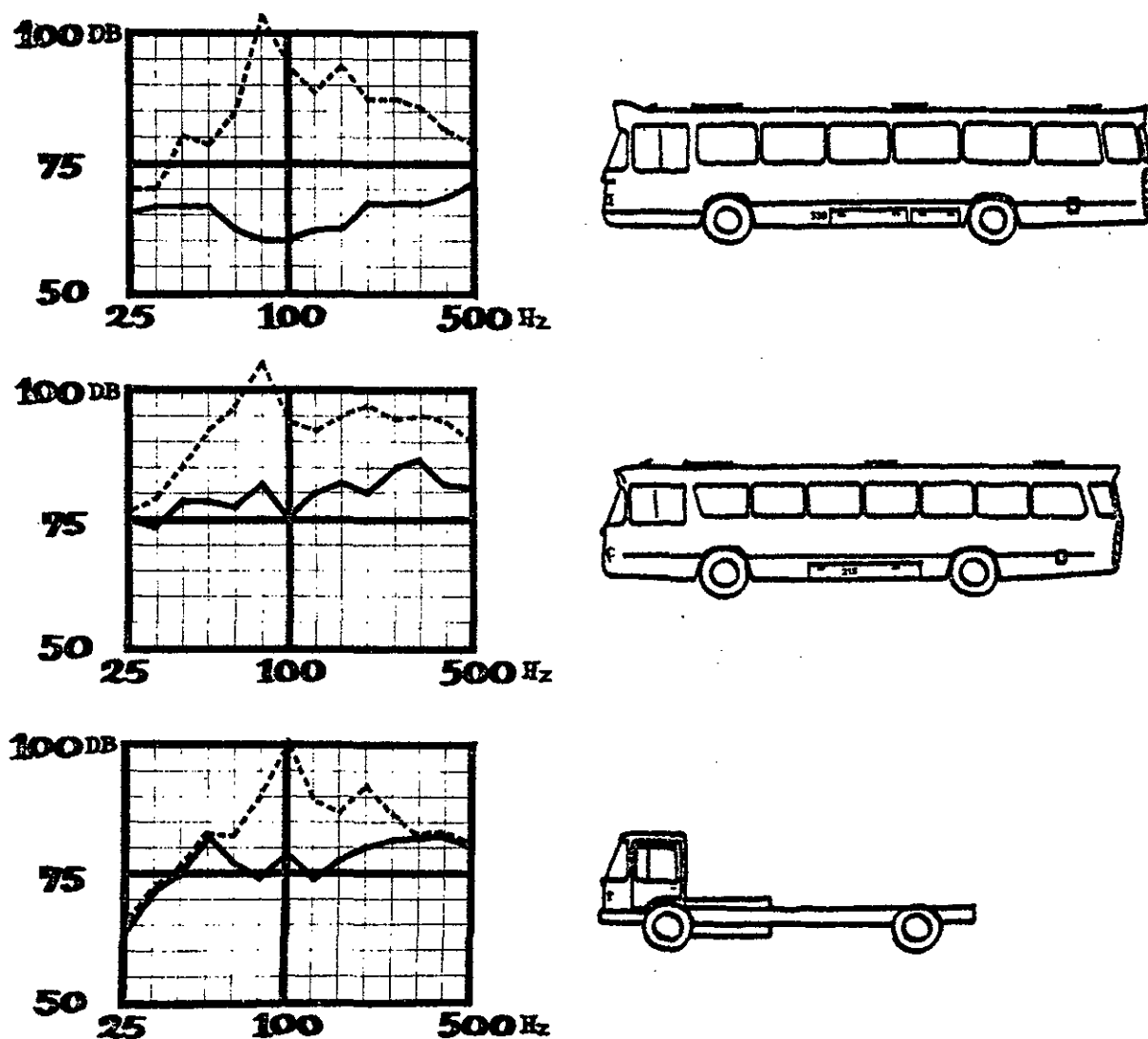
Den udæmpede udstødning fra en eksplosionsmotor er en ekstremt kraftig støjkilde, hvorfor alle køretøjer i praksis er forsynet med en form for udstødslyddæmper. Virkningen af en udstødslyddæmper - og dermed karakteren af den 'almindeligt' dæmpede udstødsstøj - afhænger såvel af lyddæmperens konstruktion og størrelse m.v. som af dens placering i forhold til udstødsmanifold og udstødsåbning. Resonanser i til- og afgangsrør påvirker lyddæmperens akustiske virkemåde.

Selv om det er muligt at foretage en rimeligt præcis dimensionering af et udstødssystem med lyddæmper [fx 20], er det almindeligt, at tilpasningen mellem motor, udstødssystem og lyddæmper foretages på et overvejende empirisk grundlag.

Den A-vægtede udstødsstøj er ofte af størrelsen 10 dB lavere end motorblokstøjen, men udstødsstøjen er i almindelighed det dominerende bidrag til den lavfrekvente del af totalstøjen fra tunge køretøjer. Især dårligt tilpassede udstødssystemer kan bevirke meget kraftige niveauer ved lave frekvenser. Da standardiserede målinger af støj fra køretøjer, f.eks. i forbindelse med standardtype-godkendelse, udelukkende omfatter det A-vægtede lydtrykniveau, og da A-vægtningen undertrykker lavfrekvent støj stærkt, er der sædvanligvis ikke ved produktudviklingen af tunge køretøjer taget særligt hensyn til reduktion af den lavfrekvente udstødsstøj.



Som eksempel på den støjmæssige virkning af et optimeret udstødssystem vises i Figur 2 totalstøjen ved forbikørsel med 2 busser og et åbent buschassis forsynet med henholdsvis originale lyddæmpere og optimeret udstødssystem. Under målingerne kørte bilerne forbi mikrofonen i 7,5 m afstand med maksimal acceleration fra stilstand.



Figur 2. Støj ved forbikørsel med maksimal acceleration i 7,5 m afstand, målt dels med originalt udstødssystem (punkteret kurve), dels med optimeret udstødssystem (fuldt optrukket kurve). [20].



Det er ikke muligt nøjere at fastslå den generelle støjmæssige virkning af optimering af lyddæmperne på tunge køretøjer. Den primære årsag er, at "udgangssituationen" er dårligt belyst; det vides ikke, i hvor høj grad de eksisterende udstøds-systemer allerede er optimeret [7].

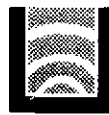
Det skal imidlertid fremhæves, at i samtlige demonstrationsprojekter er den eksisterende lyddæmper blevet udskiftet med en større type, hvorved udstødsstøjen typisk er dæmpet 8-10 dB ved forbikørsel med maksimal acceleration. Det er en hyppigt anført iagttagelse, at der ikke er tekniske eller økonomiske vanskeligheder forbundet med dæmpning af udstødsstøjen, og at de valgte udstødsdæmpere var afpasset efter, at udstødsstøjens A-vægtede niveau skulle være lavere end motorblokstøjens efter dæmpning. Dette indebærer, at det sandsynligvis i nogle projekter ville være muligt at opnå endnu større dæmpning af den lavfrekvente støj.

Et særligt problem knytter sig til placeringen af udstødsåbningen. Køretøjer med højt placeret udstødsåbning (2,5 - 3,5 m over vejbanen) vil bevirke et kraftigere niveau af trafikstøjen, hvor denne transmitteres over akustisk porøst terræn eller over støjskærme, end køretøjer med lavt placeret udstødsåbning. I bytrafik vil forskellene dog antagelig være mindre betydende.

2.3 Kølesystem

Kølesystemets støj frembringes især af køleventilatoren, som trækker køleluft igennem motorrummet, hvorved enten motorens overflade afkøles direkte (luftkølet motor) eller kølevandet i en køleradiator afkøles (vandkølet motor).

I nogle tilfælde er støjen fra kølesystemet det dominerende bidrag i store dele af frekvensområdet, se Figur 1 [1]. For det meste er det A-vægtede lydtrykniveau af støjen fra kølesystemet dog omkring 5-10 dB lavere end motorblokstøjen [f.eks. 15, 18, 19].



Støjen fra køleventilatoren er især forårsaget af dårlige strømningsforhold omkring ventilatoren. Ofte er afstandene mellem ventilatorens skovlhjul og køleradiator, -ribber, ind-sugningsgitter m.v. meget små, hvilket bevirker, at luftstrømmen har et højt turbulensindhold og at ventilatorstøjen derfor er kraftig.

Kølesystemets støj kan reduceres ved forbedring af strømningsforholdene gennem motoren. En motorindkapsling kan udformes således at luftstrømmen styres bedre og køleventilatoren får bedre arbejdsforhold. Herved samt ved udskiftning af ventilatorskovlene med aerodynamisk profilerede skovle opnås såvel en bedre ydelse som en lavere støj fra ventilatoren [21].

En meget væsentlig støjdæmpning kan opnås ved at undgå en direkte drevet køleventilator, som udelukkende er styret af motoromdrejningstallet. Ved anvendelse af en termostat-styret ventilator vil denne i de fleste kørselssituationer kun være i drift en mindre del af tiden, og herved vil den gennemsnitlige støj reduceres 6-20 dB [7, 8, 15]. Det bemærkes dog i [7], at den "driftstidsmæssige" støjdæmpning ikke kan godskrives i forbindelse med en ISO-støjmåling med forbikørsel under maksimal acceleration, fordi metoden kræver, at køleventilatoren skal køre med maksimal ydelse. I tilsvarende amerikanske målemetoder tillades det at frakoble køleventilatoren under støjmåling [16, 17].

Støj fra kølesystemet kan desuden dæmpes 5-10 dB ved at køleluften passerer gennem en lyddæmper, som placeres foran motoren. Herved dæmpes også den del af motorblokstøjen, som udstråles forud [7, 8, 12, 13, 22]. Dette fremhæves som meget væsentligt for det subjektive indtryk af en effektiv støj-dæmpning.



2.4 Indsugning

Indsugningsstøjen er kun sjældent en af de dominerende støjkilder. Støjen skyldes - ligesom udstødsstøjen - den pulserende luftstrøm igennem motoren i forbindelse med forbrændingsprocessen. Den udæmpede indsugningsstøj har ligesom udstødsstøjen et højt energiindhold ved lave frekvenser.

Imidlertid er indsugningsstøjen alene på grund af den mindre luftmængde og den lavere lufttemperatur omkring 10 dB lavere end udstødsstøjen [10]. Yderligere bevirker indsugningsluftfilteret normalt en betydelig dæmpning, især 'snorkel-type'-filtre, hvor indsugningsluften ledes til motoren via et langt rør.

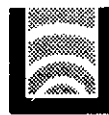
På turboladede motorer medfører turbinen en meget betydelig dæmpning af den lavfrekvente indsugningsstøj, men til gengæld frembringer turbinen ofte en tydelig, højfrekvent støj med rentonekarakter. Den højfrekvente støj kan imidlertid dæmpes med enkle midler.

De færreste af demonstrationsprojekterne har indbefattet dæmpning af indsugningsstøjen, da dette støjbidrag var lavere end de øvrige delbidrag efter dæmpning af disse. I [15] nævnes dog, at det var nødvendigt at forsyne luftindtaget med en dæmper til supplerende af luftfilterets dæmpende virkning.

2.5 Gear og transmission

I enkelte referencer anføres støj fra gear og transmission som en delkilde, der kan have indflydelse på totalstøjen fra tunge køretøjer [7], mens dette støjbidrag i andre sammenhænge behandles under ét med motorblokstøjen [f.eks. 12, 15, 16, 17].

Støj fra gear og transmission er mekanisk støj, tandhjulsstøj, som i form af strukturlyd transmitteres via lejer til indkapslingen, hvorfra den udstråles. Selv om det ikke er sædvanligt at udforme gearkasse og transmission, f.eks. diffe-



rentiale og bagaksel, med særligt henblik på støjsvag drift, er bidraget herfra til totalstøjen aldrig anført som dominerende. I ingen af demonstrationsprojekterne er der udført dæmpning af støjen fra gear og transmission.

Det anføres dog i [14], at bagakslen var den dominerende støjkilde efter støjdæmpning af en langturs-lastbil. En lavere kriterieværdi for totalstøjen ville derfor have medført, at bagakslen enten skulle indkapsles eller ændres konstruktivt, så den støjede mindre.

2.6 Rullestøj

Rullestøjen frembringes ved kontakten mellem dæk og vejbane og afhænger af dækkets mønster og opbygning samt af vejbanens overflade [23]. Rullestøjen er desuden stærkt afhængig af køretøjets fart; i [2] anføres, at rullestøjens A-vægtede lydtrykniveau forøges mellem 9 og 13 dB, når farten fordobles.

Rullestøjen er en betydende delstøjkilde for tunge køretøjer, når farten er højere end ca. 60 km/t [2]; dette er dog stærkt afhængigt af såvel motorstøjens styrke som af dækkenes udformning og vejbanens overflade. Alene på grund af antallet af dæk er rullestøjen fra tunge køretøjer kraftigere end fra personbiler. Desuden anvender tunge køretøjer i høj grad regummierede dæk med traditionelle, grove og regelmæssige mønstre. Sådanne dækmønstre frembringer mere rullestøj end normale personbieldæk, hvis mønstre er tæt ved det støjmæssigt optimale [23].

Ved sædvanlige forbikørsels-støjmålinger, hvor farten er mellem 20 og 40 km/t og køretøjerne accelererer maksimalt, har rullestøjen kun ringe indflydelse på totalstøjen fra tunge køretøjer. I ingen af demonstrationsprojekterne er der taget hensyn til støjbidraget fra dækkene. I [14] anføres i forbindelse med en diskussion af langtids-stabiliteten af støjdæmpende foranstaltninger, at en forklaring på, at støjen var steget, var, at nogle af lastbilerne var blevet forsynet med grovmønstrede snedæk siden den foregående måling.



3. TYSK DEMONSTRATIONSPROJEKT , MAGIRUS-DEUTZ

Et meget vellykket tysk demonstrationsprojekt er udført i samarbejde mellem Magirus-Deutz (bilfabrik), Klöckner-Humboldt-Deutz (motorfabrik) og Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren, Stuttgart. Projektet er bl.a. omtalt i [7, 8, 12-14].

En almindelig 7,5 T universal-lastvogn med 96 kW luftkølet dieselmotor blev anvendt som udgangskøretøj. Lydtrykniveauet ved forbikørsel i 7,5 m afstand med maksimal acceleration (ISO prøvemethode) var $L_{pA} = 90$ dB re 20 μ Pa. Støjdæmpningen blev udført i følgende trin:

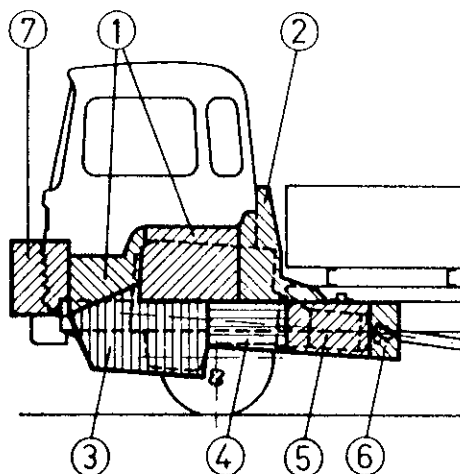
- Motoren blev udskiftet med en "let turboladet" motor, som gav samme effekt som den oprindelige ved et 11% lavere omdrejningstal, og en forbedret udstødslyddæmper blev installeret. Desuden blev motorrummet udformet som en køleluftsluse imellem luftindtaget forrest på bilen og køleventilatoren, hvorved ventilatorens driftsforhold blev forbedret. Herved faldt det A-vægtede lydtrykniveau ved ISO-prøvemethoden med 5 dB.
- Dernæst blev undersiden af førerkabinen, som udgjorde oversiden af maskinrummet, beklædt med absorberende materiale, og motoren blev indkapslet på sider og bund (delvis indkapsling). Det A-vægtede lydtrykniveau blev reduceret med yderligere 4-5 dB.
- Som sidste trin blev indkapslingens omfang udstrakt til hele komplekset af motor og gearkasse, og køleluftafgang og -tilgang blev udført som absorptionslydsluser. Dette trin blev kaldt total indkapsling, og det A-vægtede lydtrykniveau ved ISO-prøvemethoden var 74 dB, svarende til en total støjdæmpning på 16 dB. Det bemærkes, at den sidste foranstaltning - lydsluse på kølerfront - ikke havde nogen virkning på ISO-prøve-resultatet, men subjektivt vurderet bevirkede en stor støjdæmpning.



Ved en efterfølgende produktudvikling hos Magirus Deutz, hvor bl.a. motorindkapslingen blev ændret med henblik på serieproduktion, blev den opnåede støjdempling lidt mindre end i demonstrationsprojektet, jvf. Figur 3. Totalstøjen ved en ISO-prøvemetode var $L_{pA} = 77$ dB re 20 μ Pa. 50 af disse serieproducerede, støjsvage lastbiler blev leveret i kassevognsudgave til det tyske postvæsen i 1981 med henblik på en langtidsafprøvning.

Efter 1 års brug var støjen ved forbikørsel steget ca. 1 dB i gennemsnit, og nogle få af bilerne var op til 5 dB mere støjende [14]. Da den individuelle forskel ikke var så stor ved støjmålinger på de stillestående biler, nævnes som en delvis forklaring på støjforøgelsen, at nogle af bilerne var blevet forsynet med grovmønstrede snedæk. Indkapslingselementerne og tætningsarrangementerne havde ikke taget skade af 1 års kontinuert brug, og der havde ikke været køleproblemer med motorerne.

Selv om langtidsafprøvningen først afsluttes og konkluderes i 1986, anføres det i [14, 4], at resultaterne er meget opmuntrende, og at de opnåede resultater er positive både fra brugerens og fabrikantens synspunkt.



step	description of measure	L_T
0	primary measures at engine and cooling system, improved exhaust silencer	85
1	absorption below cabin and at frame sides	83,5
2	complete encapsulation above engine	82,5
3	encapsulation below engine up to front axle	81
4	encapsulation extended up to end of engine	79,5
5	encapsulation includes gearbox	78
6	absorption baffles at cooling air outlet	77
7	absorption baffles at cooling air inlet	77

Figur 3. Dæmpning af Magirus-Deutz lastbil; resultater med serieproducerede dæmningsforanstaltninger [8]. L_T er det A-vægtede lydtrykkniveau i 7,5 m afstand under maksimal acceleration (ISO prøvemethode), dB re 20 μ Pa.



4. HT'S STØJSVAGE BYBUSSE

Siden omkring 1970 har Hovedstadens Trafikselskab (tidligere Københavns Sporveje) arbejdet med, primært ved indkøb, at sikre, at selskabets bybusser var så støjsvage som muligt. I HT's leveringsforskrift for buschassis [24] anføres således:

"Motoren skal have en lydsvag gang såvel i tomgang som under belastning. Støjniveau for færdig bus ikke over 77 dB (A) (for frekvenser under 500 Hz, dog max. 70 dB) i 7,5 m afstand fra bussens centerlinie og 1,2 m højde ved såvel 50 km/h som umiddelbart før evt. automatgearkasse skifter til direkte gear, med fuld motorydelse og kølerblæser indkoblet. Målingen skal foretages med den af motorfabrikken foreskrevne justering af motoren."

HT har i løbet af en årrække successivt skærpet støjkra-
ven til nye busser, og de nyeste typer overholder generelt kravet om $L_{pA} \leq 77$ dB re 20 μ Pa ved en ISO accelerationstest. Der er dog problemer med at få kravet til den lavfrekvente støj overholdt, fordi HT mangler gennemslagskraft over for de store fabrikker af buschassis og busser (Volvo, Leyland, Scania) i kraft af de begrænsede leverancer [25].

Busserne er især kendetegnet ved en fuldstændig motorindkapsling, mens det er lidt uklart, om udstødslyddæmperne er særligt lydsvage udgaver. De typer af lyddæmper, som på foranledning af Københavns Sporveje blev udviklet i 1970 [20], anvendes på grund af mekaniske og leveringsmæssige problemer ikke mere. Busserne leveres nu med originale lyddæmpere.

Ifølge HT's værksteder giver motorindkapslingerne dårlige adgangsforhold ved eftersyn og reparation. Lemme og åbninger i indkapslingerne er ikke i tilstrækkelig grad udformet med henblik på service-venlighed.

Merprisen for en støjdæmpet bus, som overholder leveringsforskriftens krav om $L_{pA} \leq 77$ dB re 20 μ Pa, oplyses at være



mindre end 2½% af prisen for en komplet bus [25]. Dette må sammenholdes med, at busser i standardudførelse i almindelighed forventes netop at overholde justitministeriets støjgrænse på $L_{pA} \leq 85$ dB re 20 μ Pa.

5. KONKLUSIONER

På grundlag af resultaterne fra demonstrationsprojekterne og de øvrige rapporterede projekter om fremstilling af støjsvage tunge køretøjer kan det konkluderes:

- Støjen fra tunge køretøjer kan med kendt og indarbejdet teknologi dæmpes omkring 10 dB, målt ved en ISO-prøvemetode (maksimal acceleration, lav hastighed, L_{pA} i 7,5 m afstand). Der er typisk opnået resultater på omkring 80 dB re 20 μ Pa.
- Når de støjdæpende foranstaltninger er korrekt udført, har de ingen negativ indvirkning på køretøjets holdbarhed, driftssikkerhed, kørselsøkonomi eller service-venlighed.
- Merprisen for støjsvage køretøjer anføres til mellem 2 og 10% af prisen for standard-køretøjet. Ved produktion af større serier vil merprisen næppe overstige 5%.
- Den lavfrekvente støj fra tunge køretøjer kan især dæmpes ved anvendelse af optimerede udstødslyddæmpere. Disse vil i almindelighed have et større volumen end de originale lyddæmpere. Størrelsen af støjreduktionen kan ikke anføres generelt, da den bl.a. afhænger af, hvor støjende de originale udstødssystemer var, men en dæmpning af den lavfrekvente støj med omkring 10 dB forekommer ikke urealistisk.



6. REFERENCER

- [1] Crocker, M.J.: "Identifying sources of Noise in Engines and Vehicles". Proceedings Inter-Noise 79, p. 347-356. Warszawa 1979.
- [2] Pride, T.: "Road Vehicle Noise", i "Noise and Vibration", ed.: White & Walker, ISVR. Ellis Horwood Ltd, Chichester 1982.
- [3] Atkins, K.A.; Challen, B.J.: "A Practical Approach to Truck Noise Reduction", p. 59-68. Institution of Mechanical Engineers, Conference publication 1979 - 10, London 1979.
- [4] Essers, U.: "Road Traffic Noise and Possibilities of Reduction". Proceedings Inter-Noise 85, p. 235-238, Munich 1985.
- [5] Attia, F.; Weiler, A.: "Investigation into the Noise Emission of a 6 Cylinder Diesel Engine using Sound Intensity Measurements". Proceedings Inter-Noise 85, p. 1123-1126, Munich 1985.
- [6] Waters, P.E.: "Commercial Road Vehicle Noise", Journal of Sound and Vibration (1974) 35, p. 155-222.
- [7] von Meier, A.: "Noise Reduction on Road Vehicles". Rapport nr. GB-HR-25-01, "Onderzoekprogramma Geluidhinder" 's-Gravenhage 1984.
- [8] Essers, U.: "Kraftfahrzeuggeräusche". VDI-Berichte nr. 485, 1983, p. 83-99.
- [9] Windett, R.M.; Johnson, R.W.; Pullen, H.L.; Lalor, N.: "The Practical Reduction of Bare Engine Noise from a Conventional Diesel Engine", p. 111-118. Institution of Mechanical Engineers, Conference Publication 1979 - 10, London 1979.



- [10] Heckl, M.: "Schallentstehung bei Verbrennungsmotoren",
i "Taschenbuch der Technischen Akustik",
Springer-Verlag, Berlin 1975.
- [11] Tyler, J.W.: "The UK Quiet Heavy Vehicle (QHV) 90 Pro-
gramme". Proceedings Inter-Noise 85, p. 157-160,
Munich 1985.
- [12] Liedl, W.; Essers, U.: "Noise Reduction in Production
Trucks by Means of Enclosure". Proceedings Inter-Noise 80,
p. 367-370, Miami 1980.
- [13] Kemper, G.: "The "Low-Noise Vehicle Program" of the
Umweltbundesamt". Proceedings Inter-Noise 81, p. 47-50,
1981.
- [14] Kemper, G.: "Experiences with Low-Noise Vehicles with
Diesel Engines". Proceedings Inter-Noise 83, p. 209-212.
Edinburgh 1983.
- [15] Drewitz, H.; Stiglmaier, M.: "Noise Reduction on Trucks
of 6-10 T GVW Through Engine Encapsulation".
Proceedings Inter-Noise 85, p. 243-246, Munich 1985.
- [16] Bender, E.K.: "Reducing the Noise of a Heavy-Duty
Diesel Truck". Proceedings Inter-Noise 80, p. 361-366,
Miami 1980.
- [17] Bender, E.K.; Bronsdon, R.L.; Remington, P.J.:
"Controlling the Noise of a Conventional Heavy-Duty
Diesel Truck". Proceedings Inter-Noise 81, p. 159-164,
1981.
- [18] Breeuwer, R.; Gerretsen, E.; Iping, P.J.M.:
"Geluidproductie totale bus, bijdrage deelbronnen".
ICG-project VL 3.2 "Stille Streek-bus, deel rapport 1.
TPD, rapport No. 607.746, Delft 1976.



- [19] Gerretsen, E.; van Ling, J.A.N.: "Geluidreductie Streekbus door motorinkapseling". ICG-project VL 3.2 "Stille Streekbus" fase 3, deelrapport 2. TPD, rapport No. 907.746, Delft 1980.
- [20] Lykkeberg, P.; "Luftlydsdampning". Afsnit 3 i kompendium til DIEU-kursus: konstruktion af støjsvage maskiner.
- [21] Hofe, R.V.; Thien, G.E.: "An efficient approach to design low-noise automotive cooling systems". Institution of Mechanical Engineers conference "Vehicle Noise and Vibration", conference publication 1984-5. London 1984.
- [22] Lykkeberg, P.; Rixen, K.; Terndrup, H.: "Støjdampning af entreprenørmaskiner". Foredrag NAS 76, p. 238-244, Sandefjord 1976.
- [23] Kragh, J.: "Vejbelægninger og trafikstøj. Statusrapport" Lydteknisk Institut, rapport LI 747/85, Lyngby 1985.
- [24] Hovedstadsrådets Trafikselskab. Leveringsforskrifter for buschassiser, 1984. (Tilsvarende krav anført i leveringsforskrifter for komplette busser, 1984).
- [25] Personlig kommunikation med ingeniør K. Lund, HT.





BEGRÆNSNING AF TRAFIKSTØJ INDENDØRS

Udarbejdet af Jørgen Jakobsen

INDHOLD

	Side
1. INDLEDNING	3
2. BYGNINGSDELES LYDISOLATION, OVERSIGT	4
3. VINDUERS LYDISOLATION	7
3.1 Beregning af trafikstøj indendørs for forskellige vinduestyper	8
3.2 Optimal vindueskonstruktion	18
4. UDELUFTVENTILERS LYDISOLATION	19
4.1 Beregning af trafikstøj indendørs for forskellige udeluftventiler	20
4.2 Sammenfatning	23
5. LYDISOLATION AF YDERVÆGGE OG TAGE/LOFTER	25
6. FORBEDRING AF LYDISOLATIONEN FOR EKSISTERENDE BYGNINGER	26
6.1 Forbedring af eksisterende vinduer	27
6.2 Udskiftning af vinduer	27
6.3 Øvrige foranstaltninger	28
7. NYBYGGERI MED HØJ LYDISOLATION	30
8. DISKUSSION	31
9. REFERENCER	33
APPENDIX: Tabel over reduktionstal for beregningerne i afsnit 3.1 og 4.1	35





1. INDLEDNING

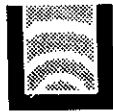
I Danmark er over en million boliger udsat for en utilfredsstillende høj støjbelastning hidrørende fra trafik, primært fra vejtrafik. Støjbelastningen indendørs stammer i de fleste tilfælde fra lydtransmission gennem vinduerne, og den kan derfor ofte mindskes ved forbedring af vindueskonstruktionens lydisolationsisolation.

Der har gennem en årrække været en betydelig interesse for at støjisolere boliger [1-6], og i de eksisterende bygningsreglementer (BR 82 og BR-S 85) er der formuleret krav til lydtrykkniveauet indendørs af støj fra vej- og jernbanetrafik. Som følge heraf har vinduesproducenterne udviklet en lang række "lydruder", og der er udført flere forskningsarbejder i relation til at optimere vinduers lydisolationsisolation [7,8].

I løbet af de seneste 10-15 år er der udført supplerende varmeisolering af omkring 1½ million boliger. Det er ikke muligt at skønne, i hvor mange af disse boliger efterisoleringen desuden har medført en mærkbar forbedring af lydisolationsisolationen. I mange tilfælde har efterisoleringen indbefattet enten opretning og tætning af de eksisterende vinduer eller udskiftning af enkeltvinduer til vinduer med termoruder. Under forudsætning af, at der ikke forekommer betydelige transmission af trafikstøj gennem andre bygningsdele eller åbninger, medfører disse foranstaltninger en forøgelse af lydisolationsisolationen på 5-10 dB henholdsvis 10-15 dB. En udskiftning af velfungerende vinduer med koblede rammer eller af vinduer med tætte forsatsruder til vinduer med termoruder bevirker i almindelighed ingen forbedring af lydisolationsisolationen.

Trafikstøj transmitteres fra det fri til et rum i en bygning ad forskellige transmissionsveje:

- vinduer
- ventilationsåbninger
- døre
- ydervægge
- tage/lofter



Den mest betydende del af lydtransmissionen sker i reglen gennem ventilationsåbninger og vinduer. Desuden kan der forekomme betydende lydtransmission gennem yderdøre i tilfælde, hvor de fører fra støjfølsomme rum til det fri (f.eks. altandøre). Lydtransmissionen gennem ydervægge og gennem tag- og loftskonstruktion har normalt ikke væsentlig indflydelse på trafikstøjen indendørs.

I ældre byggeri med udnyttet loftsetage og i traditionelle ét-plans huse med utæt, let loftbeklædning kan der dog forekomme betydende lydtransmission igennem taget [1,2,4-6]. I forbindelse med forbedring af bygningers lydisolations over for trafikstøj ved udskiftning eller forbedring af vinduerne vil det derfor ofte være påkrævet desuden at forbedre loftskonstruktionen.

Transmission af trafikstøj gennem traditionelle tunge ydervægge af beton og mur vil kun i de færreste tilfælde have nævneværdig betydning.

Lette ydervægge som f.eks. pladebeklædte facadeelementer eller højisolerende, selvbærende sandwichelementer har en betydeligt ringere lydisolations [1,2,4,5,9,10]. Sådanne ydervægge kan ofte transmittere bidrag af samme størrelse som traditionelle, ikke-lydisolerende vinduer til trafikstøjen indendørs. Det vil i så fald være forbundet med store omkostninger at forbedre facadens lydisolations.

2. BYGNINGSDELES LYDISOLATION, OVERSIGT

I denne delrapport anvendes betegnelsen "lydisolation" bredt om bygningsdeles evne til at reducere lydenergi ved transmission gennem bygningsdelene. Betegnelsen anvendes således både om forskellen mellem lydtrykniveauerne af trafikstøj udendørs og indendørs, om laboratoriemålt reduktionstal (R) og om feltmålt tilsyneladende reduktionstal (R'). Som enkelttalsangivelser anvendes forskellen, ΔL_A , mellem det A-vægtede lydtrykniveau udendørs i frit felt og det A-vægtede lydtrykniveau indendørs;



der anvendes det vægtede (laboratoriemålte) reduktionstal R_w og det vægtede (feltmålte) tilsyneladende reduktionstal R'_w i henhold til DS 2186 del 3, 1982.

Den brede brug af betegnelsen er valgt på bekostning af en stringent fremstilling for at fremme overskueligheden.

Tætte bygningsdeles lydisolations er i første tilnærmelse bestemt af fladevægten. En fordobling af vægten pr. m^2 bygningsdel vil groft taget medføre en forbedring af lydisolations på 6 dB. Lydisolationen øges med stigende frekvens. Lydisolationen tiltager - ligeledes i første tilnærmelse - med 6 dB pr. fordobling af frekvensen.

For enhver retning af det indfaldende lydfelt er der en frekvens, ved hvilken projektionen af bølgelængden i lydfeltet falder sammen med bølgelængden af frie bøjningssvingninger i bygningsdelen. På grund af dette sammenfald (koincidens) bliver lydisolations ved denne frekvens, koincidensfrekvensen, mindre end forventet på baggrund af de ovenfor anførte simple regler. Den laveste koincidensfrekvens fås ved strejfende lydindfald. Den benævnes grænsefrekvensen for koincidens, f_c . På kurver over bygningsdeles reduktionstal kan f_c ofte identificeres, idet der fremkommer et tydeligt dyk, se figur 1.

Grænsefrekvensen for koincidens, f_c , bestemmes af bygningsdelens bøjningsstivhed og dermed blandt andet af deres tykkelse. Fordobles tykkelsen af en bygningsdel, halveres f_c . For 15 cm beton er $f_c \approx 125$ Hz, og for 3 mm glas er $f_c \approx 4000$ Hz.

Ved sædvanlig bygningsakustisk projektering tilstræbes det at vælge bygningsdele med f_c lavere end ca. 160 Hz eller højere end ca. 2000 Hz [11].

Bygningsdele, der er udformet som dobbeltkonstruktioner, har betydeligt højere lydisolations end massive bygningsdele med i øvrigt samme fysiske egenskaber. En forudsætning for at en bygningsdel kan betragtes som en dobbeltkonstruktion er, at der kun er ubetydelig kobling imellem de to halvdele.



I almindelighed øges lydisolationen for dobbeltkonstruktioner med stigende hulrumsdybde.

Ved en frekvens, som er bestemt af halvdelenes fladevægt og mellemrummets stivhed, opstår der resonans. Ved denne frekvens, resonansfrekvensen f_0 , er lydisolationen lavere end for en tilsvarende massiv konstruktion.

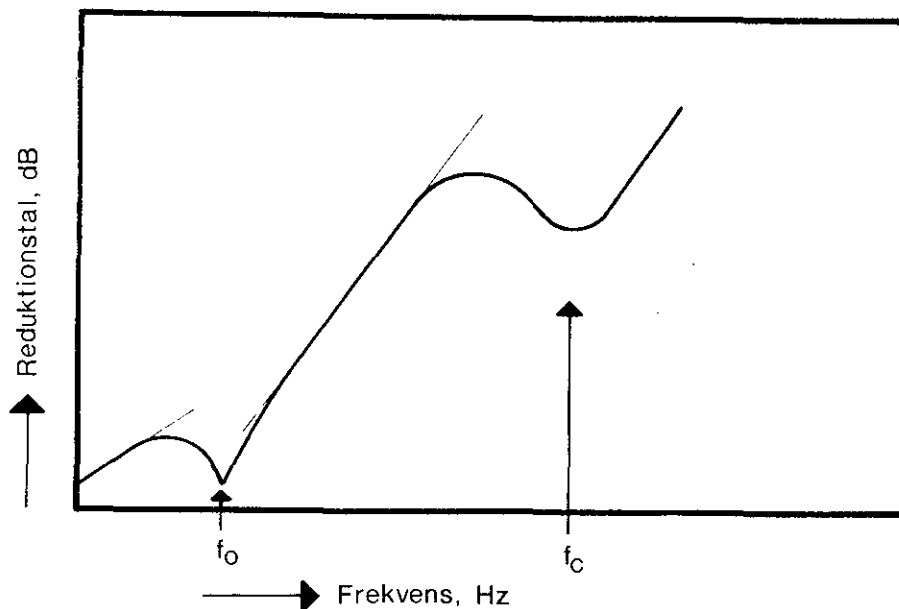


Fig. 1 Principielt forløb af reduktionstalskurven for en dobbeltkonstruktion.
 f_0 = resonansfrekvens, f_c = koincidensfrekvens

Resonansfrekvensen f_0 kan for dobbeltkonstruktioner med atm. luft i hulrummet beregnes tilnærmert ved hjælp af formlen:

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \frac{1}{d}} \quad [\text{Hz}]$$

hvor: m_1 er fladevægten af den ene halvdel [kg/m^2]

m_2 er fladevægten af den anden halvdel [kg/m^2]

d er hulrumsdybden [m]

Det tilstræbes ved sædvanlig bygningsakustisk projektering, at f_0 bliver lavere end 50-80 Hz [11]. Dette kan ikke opnås for forseglede 2-lagsruder, fordi der kræves urealistisk store mel-



lemrum. Resonansfrekvensen for en termorude bestående af 2 stk. 4 mm glas adskilt af et 12 mm separatorprofil (i det følgende betegnet: 4-12-4) er $f_0 \approx 240$ Hz.

Bygningsdele udformet som 3-dobbeltkonstruktioner, f.eks. 3-lagsruder, har to resonansfrekvenser. Det er normalt kun den laveste af disse, f_{01} , der har væsentlig betydning for lydisolationen. Formeludtryk til beregning af resonansfrekvenserne for 3-lagsruder kan findes i [8]. 3-dobbeltkonstruktioner har sædvanligvis ikke bedre lydisolationsend dobbeltkonstruktioner med samme totale masse og tykkelse.

3. VINDUERS LYDISOLATION

Vinduers lydisolations er blevet undersøgt i en række projekter, blandt andet på Lydteknisk Institut [7,8,12]. Referencerne [7, 8] beskriver de to første delprojekter af et flerårigt projekt for Teknologistyrelsen, hvori vindueskonstruktioner med forseglede 2- og 3-lagsruder undersøges systematisk med specielt henblik på en optimering af lydisolationsen. Et stort antal laboratoriemålinger af lydisolationsen af vinduer med forskellige forseglede ruder beskrives, og måleresultaterne sammenfattes på grundlag af det vægtede reduktionstal, R_w . R_w er en internationalt standardiseret målestørrelse for lydisolations og benyttes i Danmark til klassifikation af vinduer [13]. Det konkluderes:

- Asymmetriske konstruktioner - opnået ved brug af forskellige glastykkelser bevirker en væsentligt bedre lydisolationsend symmetriske konstruktioner.
- Lamineres det ene glaslag, opnås bedre lydisolationsend med et massivt glas af samme tykkelse. Forbedringen sker ved de høje frekvenser, over ca. 1 kHz.
- Forøget hulrumsdybde giver bedre lydisolations, mest udpræget i forbindelse med hulrumsfyldning med tung gas (SF_6). For luftfyldte 2-lagsruder er hulrumsdybdens ind-



flydelse i det undersøgte område (4-24 mm) ikke væsentlig.

- Fyldning af hulrummet med tung gas (SF_6) bevirker en reduktion af lydisolationen ved hulrum mindre end ca. 9 mm, fordi minimet på reduktionstalskurven omkring resonansfrekvensen bliver særlig dybt, se fig. 1. Ved store hulrumsdybder, over ca. 12 mm, er minimet mindre udtalt, og der opnås en forøgelse af lydisolationen. For 3-lagsruder fås en højere lydisolations, når ét hulrum (det største) fyldes med tung gas, end hvor begge hulrum er fyldt med atm. luft eller med tung gas.
- Ruder monteret i fast karm har i de fleste tilfælde dårligere lydisolations end de samme ruder i tætte, oplukkelige vinduer. Årsagen er sammenfald mellem egensvingningerne ved relativt lave frekvenser i vinduesnichen og i rudens hulrum for ruder i fast karm som følge af (næsten) sammenfaldende dimensioner.

3.1 Beregning af trafikstøj indendørs for forskellige vindues- typer

For at undersøge nogle af de ovenfor nævnte konklusioners gyldighed, når vurderingen i stedet baseres på det indendørs A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøj i stedet for på R_w , blev en række eksempler gennemregnet. Resultaterne gengives i det følgende. Måleresultater [7,8] for et antal oplukkelige vindueskonstruktioner, som havde særlig god lydisolations eller som repræsenterede almindeligt anvendte vinduestyper, blev brugt. Desuden blev et mindre antal resultater fra feltmålinger af vinduers lydisolations [3,14] inddraget for at belyse andre vindueskonstruktioners egenskaber. Resultater for ikke-optimale ruder som f.eks. gasfyldte ruder med små hulrum o.l. er ikke medtaget i eksemplerne.

Beregningerne blev gennemført for 1/3 oktavbåndene med centerfrekvens 50 Hz - 5000 Hz. I de tilfælde hvor vindueskonstruk-



tionens reduktionstal ikke var målt i hele dette frekvensområde, blev det bestemt ved ekstrapolation ud fra anvisningerne i [15]. Ved lave frekvenser ekstrapoleredes med 6 dB pr. oktav (for resultater fra [7,8]) og for høje frekvenser med en vandret linie (resultater fra [3]). Sædvanligvis gennemføres bygningsakustiske målinger i frekvensområdet 100-3150 Hz. Uden for dette frekvensområde, og specielt ved lave frekvenser, er måleresultater behæftet med en større ubestemthed end det forudsættes i de relevante standarder.

Frekvenssammensætningen af trafikstøjen udendørs blev antaget at være som opgivet for tæt bebyggelse i [16] (køretøjernes fart 50 km/h, afstand fra vejmidte 4-40 m - middel 16 m, andel tunge køretøjer 3-27% - middel 9,5%), idet værdierne ved 4 og 5 kHz dog måtte estimeres, se fig. 2. I henhold til [10] afviger de fleste rapporterede spektre af vejtrafikstøj kun meget lidt fra hinanden.

I beregningseksemplerne anvendtes i øvrigt følgende forudsætninger:

Rum:	$3,5(b) \times 4,1(d) \times 2,3(h) \text{ m}^3 = 33,1 \text{ m}^3$
Facade:	$3,5 \times 2,3 \text{ m}^2 = 6,6 \text{ m}^2$
Vindue:	$1,2 \times 1,2 \text{ m}^2 = 1,4 \text{ m}^2$
Efterklangstid i rum:	0,5 s ved alle frekvenser

Den del af facaden, som ikke er vindue, forudsættes at bestå af 15 cm beton.

Det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen udendørs i frit felt på facadens plads antages at være 80 dB re 20 μPa .

Det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen indendørs blev bestemt ud fra de opgivne forudsætninger som summen af bidraget transmitteret gennem betonfacaden, se fig. 3, og bidraget transmitteret gennem det pågældende vindue. Det generelle formeludtryk er angivet blandt andet i [10, kapitel 4]. Beregningerne blev gennemført for 18 forskellige vindueskonstruktioner, jf. fig. 4-21. Hovedresultaterne er sammenstillet i tabel 1 omstående.



For vindueskonstruktionerne angiver - en forseglet konstruktion og + en koblet eller en forsatskonstruktion. Således er en termorude med 2 lag 4 mm glas og 12 mm hulrum angivet: 4-12-4; mens den samme rude koblet til et massivt 4 mm glas i 40 mm afstand benævnes 4+40+4-12-4.

ΔL_A er forskellen mellem det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen udendørs i frit felt og indendørs, og R_W er det vægtede reduktionstal for vinduet alene (for feltmålinger: det vægtede tilsyneladende reduktionstal). Med * angives resultater fra feltmålinger [3,14], og (G) angiver hulrumsfyldning med tung gas (SF_6).



Fig. nr.	Vindueskonstruktion	Ref.	A-vægtet lydtrykniveau af trafikstøj indendørs, dB re 20 μ Pa	ΔL_A , dB	R_w , dB
4	3-12-3+35+3	14	46	34	35*
5	6-6-5-15-4	14	46	34	34*
6	3-12-3-12-3	14	45	35	35*
7	3	3	52	28	26*
8	4-12-4	3	48	32	33*
9	3+130+3	3	48	32	37*
10	3+130+4-12-4	3	43	37	42*
11	4-6-4-6-4	8	46	34	34
12	6-12-4-6-4	8	41	39	39
13	8-12-4-6-4	8	42	38	40
14	8-12-4-6-4 (GL)	8	41	39	41
15	4-12-4	7	46	34	33
16	4-12-4 (G)	7	48	32	33
17	6-12-4	7	43	37	38
18	8-12-4	7	42	38	38
19	8-20-4	7	43	37	39
20	8-12-4 (G)	7	42	38	40
21	8-6-4	7	41	39	38

Tabel 1 Beregnet A-vægtet lydtrykniveau af trafikstøj indendørs for facade med forskellige vindueskonstruktioner; ΔL_A er forskellen på de A-vægtede lydtrykniveauer af trafikstøj udendørs i frit felt og indendørs, og R_w er det vægtede reduktionstal. * betegner resultater af feltmålinger.

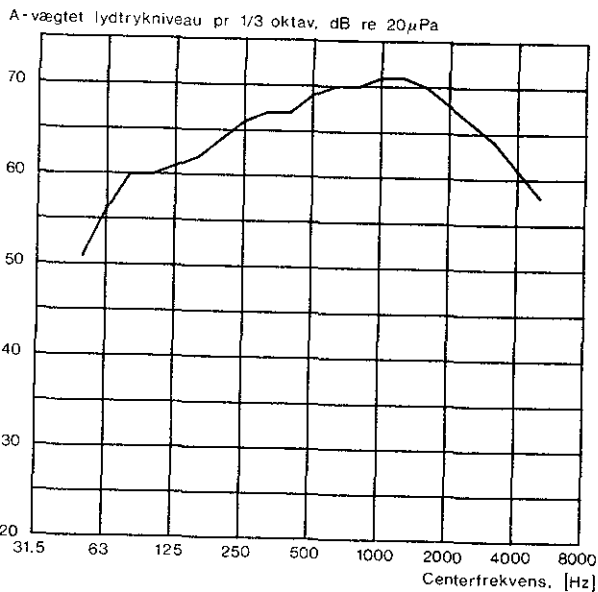


Fig. 2 Udendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 80$ dB re 20 μ Pa [16].

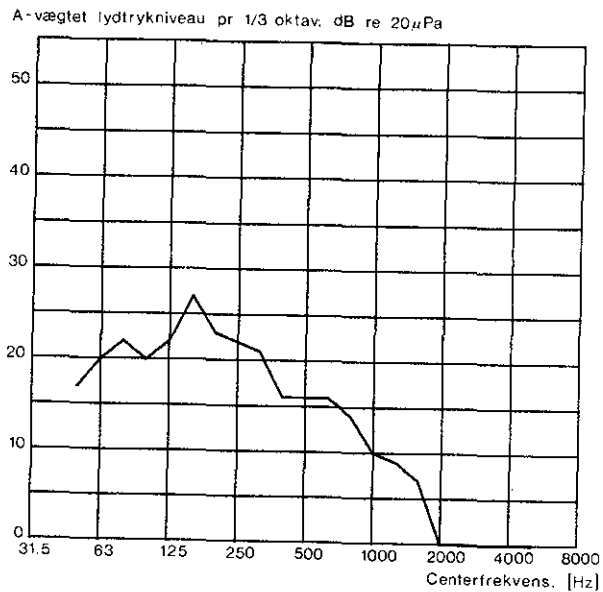


Fig. 3 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 32$ dB re 20 μ Pa. Bidrag fra mür (15 cm massiv beton) uden vindue [11].

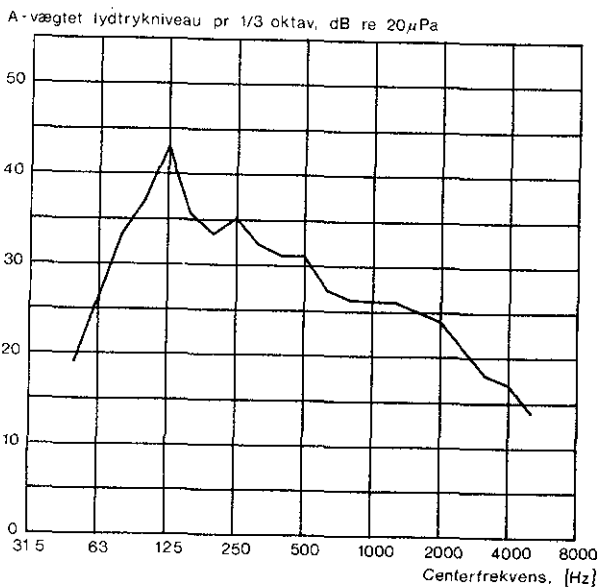


Fig. 4 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 46$ dB re 20 μ Pa. Vindue: 3-12-3+35+3 [14]; $f_{01} = 125$ Hz. $R'_w = 35$ dB.

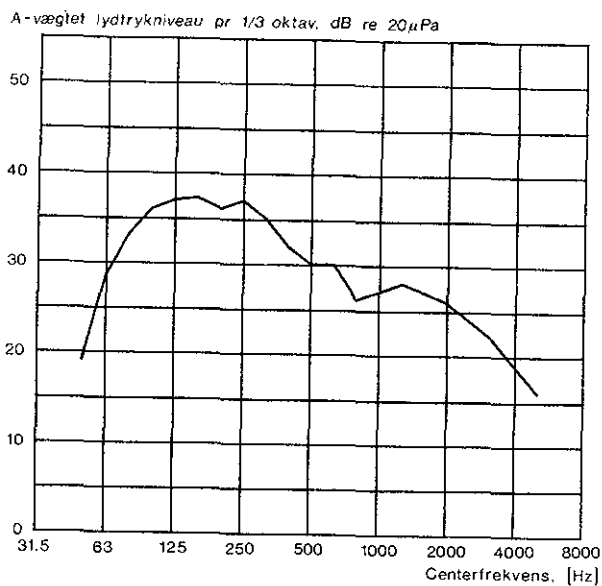


Fig. 5 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 46$ dB re 20 μ Pa. Vindue: 6-6-5-15-4 [14]; $f_{01} = 170$ Hz. $R'_w = 34$ dB.

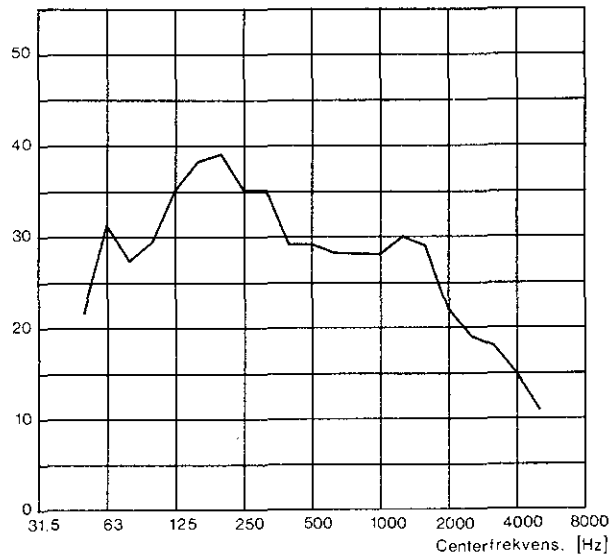
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 6 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 45$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 3⁻12-3-12-3 [14]; $f_{01} = 200$ Hz.
 $R'_w = 35$ dB.

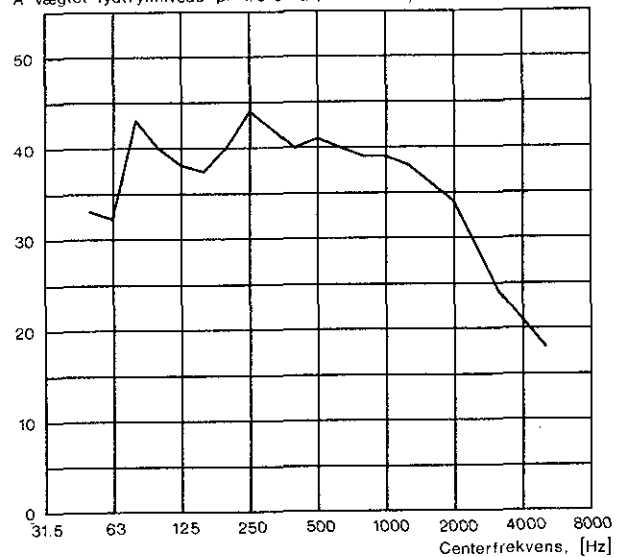
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 7 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 52$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 3 mm enkeltglas, tætnet [3].
 $R'_w = 26$ dB.

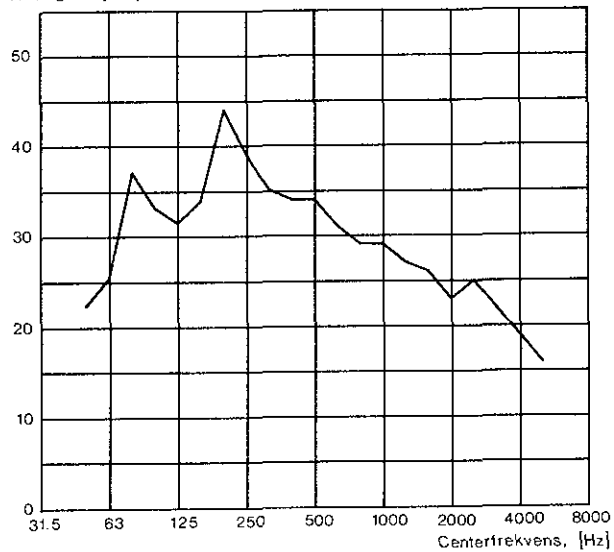
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 8 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 49$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 4⁻12-4 [3]; $f_0 = 240$ Hz.
 $R'_w = 33$ dB.

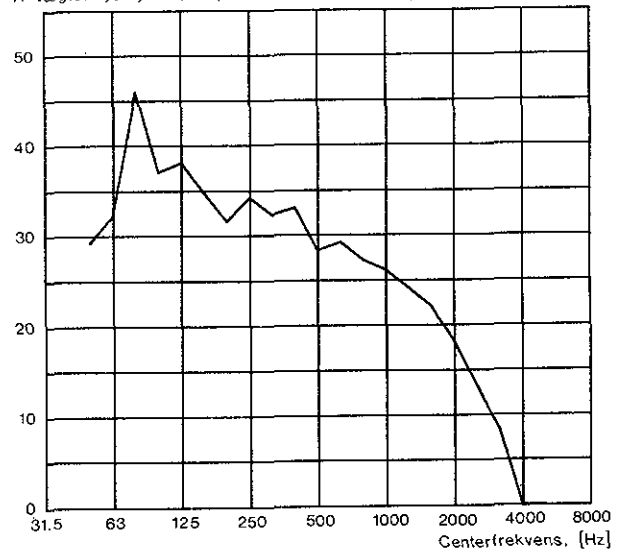
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 9 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 48$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 3⁺130+3 [3]; $f_0 = 90$ Hz.
 $R'_w = 37$ dB.

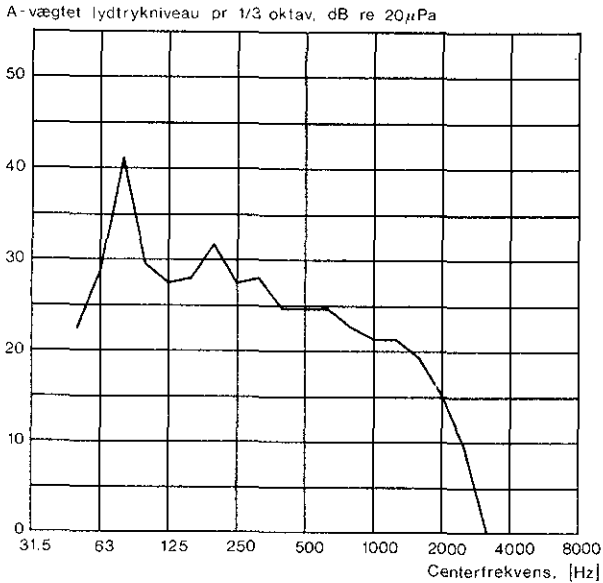


Fig. 10 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 43$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 3 $\frac{1}{2}$ -130+4-12-4 [3]; $f_{01} = 80$ Hz.
 $R'_w = 42$ dB.

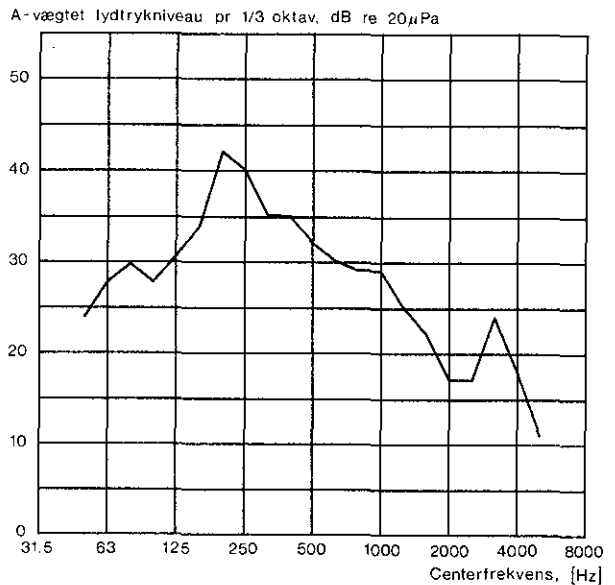


Fig. 11 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 46$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 4-6-4-6-4 [8]; $f_{01} = 250$ Hz.
 $R'_w = 34$ dB.

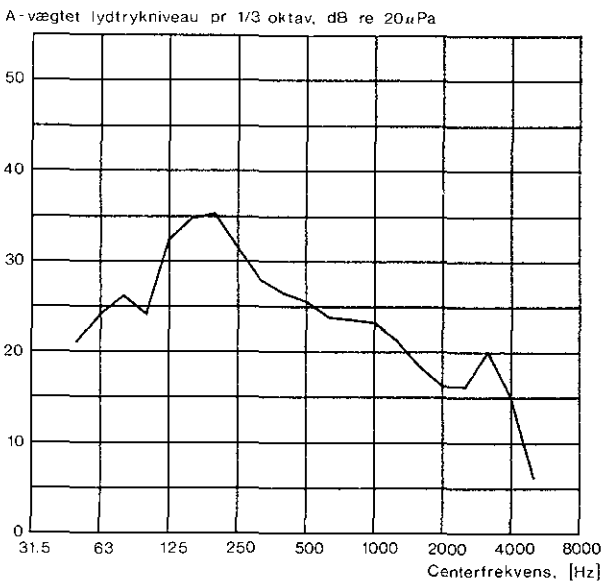


Fig. 12 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 41$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 6-12-4-6-4 [8]; $f_{01} = 180$ Hz.
 $R'_w = 39$ dB.

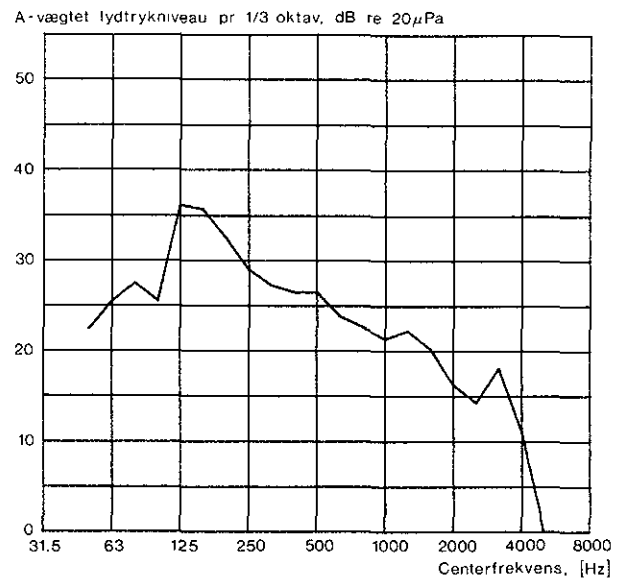


Fig. 13 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 42$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8-12-4-6-4 [8]; $f_{01} = 160$ Hz.
 $R'_w = 40$ dB.

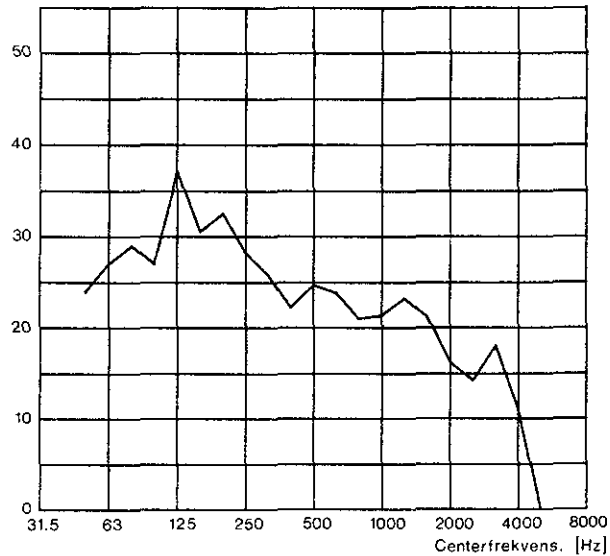
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 14 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 41$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8-12-4-6-4 med SF₆ i 12 mm hulrum [8];
 $f_{01} = 140$ Hz. $R_w = 41$ dB.

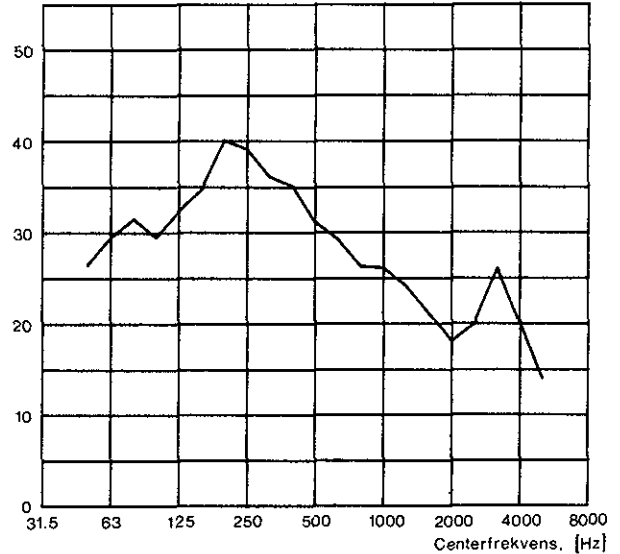
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 15 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 46$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 4-12-4 [7]; $f_0 = 240$ Hz.
 $R_w = 33$ dB.

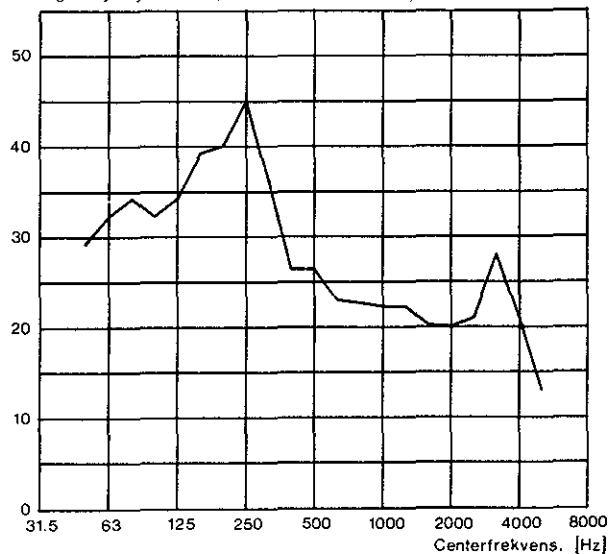
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 16 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 48$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 4-12-4 med SF₆ [7]; $f_0 = 210$ Hz.
 $R_w = 33$ dB.

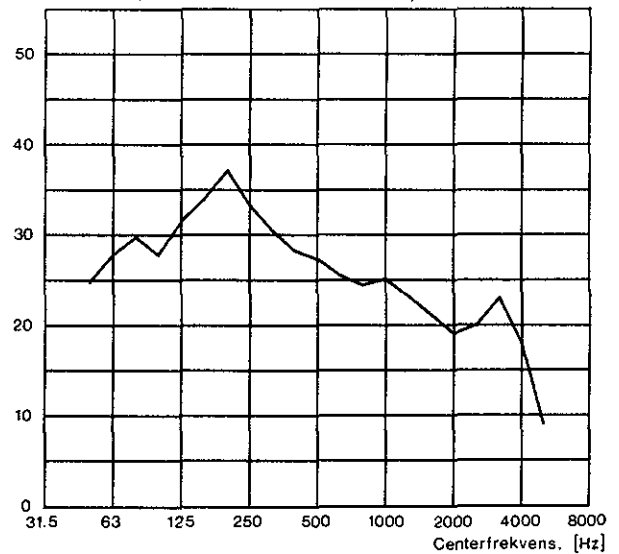
A-vægtet lydtrykniveau pr 1/3 oktav, dB re 20 μ Pa

Fig. 17 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 43$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 6-12-4 [7]; $f_0 = 220$ Hz.
 $R_w = 38$ dB.

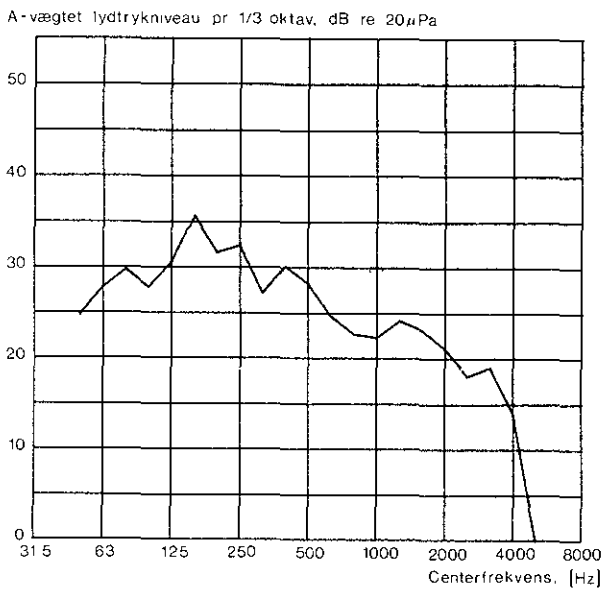


Fig. 18 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 42$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8^{12-4} [7]; $f_0 = 210$ Hz.
 $R_w = 38$ dB.

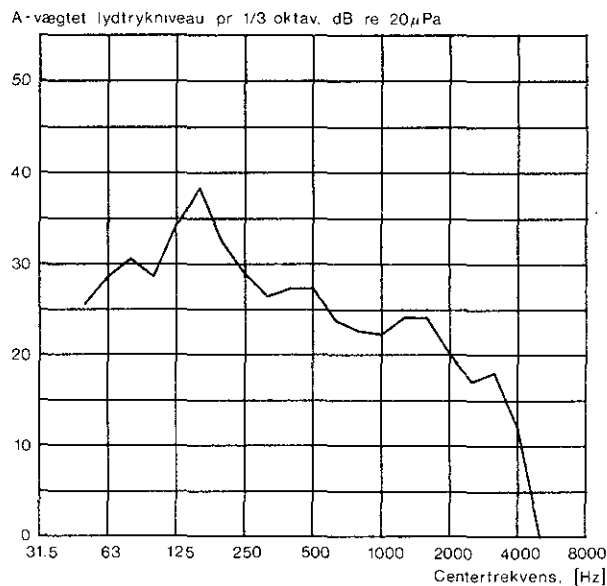


Fig. 19 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 43$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8^{20-4} [7]; $f_0 = 160$ Hz.
 $R_w = 39$ dB.

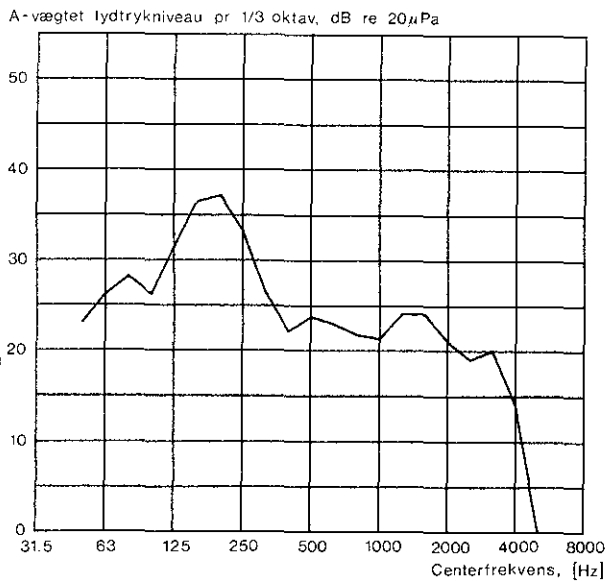


Fig. 20 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 42$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8^{12-4} med SF₆ [7]; $f_0 = 180$ Hz.
 $R_w = 40$ dB.

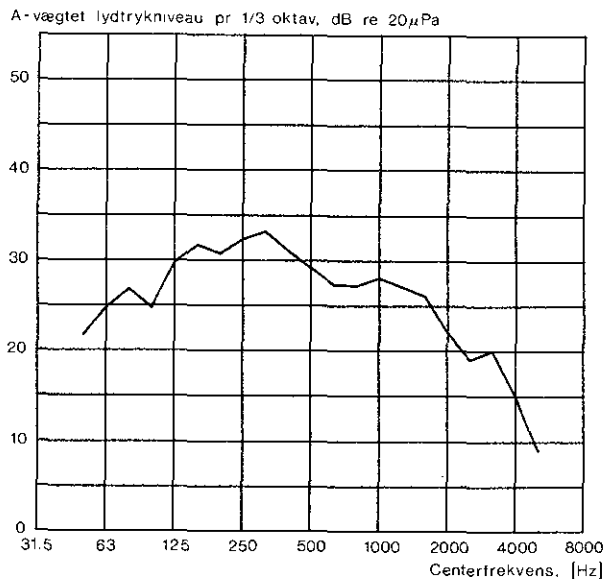


Fig. 21 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau,
 $L_{pA} = 41$ dB re 20 μ Pa. Vindue:
 8^{6-4} [7]; $f_0 = 300$ Hz.
 $R_w = 38$ dB.



Ved at sammenholde fig. 3 med figurerne 4-21 ses, at lydtransmissionen gennem betonvæggen ikke har betydende indflydelse på trafikstøjen indendørs.

En oversigtlig gennemgang af figurerne viser, at det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen indendørs med få undtagelser er domineret af lyd i frekvensområdet 125-500 Hz. I ingen af eksemplerne forekommer indflydelse af lyd med højere frekvens end 1000 Hz. De beregnede resonansfrekvenser for ruderne, f_0 (f_{01} for 3-lagsruder), svarer i næsten alle eksempler til et markant maksimum i støjspektret. I fig. 5, 18 og 21 er resonanserne dog ubetydelige, og for vinduet i fig. 7, som var forsynet med enkeltglas, er der ingen resonans.

I støjspektrene i fig. 7-10 bemærkes et maksimum ved 80 Hz, også for vindueskonstruktioner, som ikke har resonansfrekvens i eller nær dette 1/3 oktavbånd. Årsagen kan tænkes at være af rumakustisk art, stående bølger, hvilket blandt andet bevirker en forøgelse af måleusikkerheden. I det hele taget er måle- og beregningsresultaterne for frekvenser lavere end 100 Hz forbundet med stor ubestemthed. Dette gælder naturligvis specielt de resultater, der er baseret på ekstrapolerede værdier. Ingen af disse resultater udviser imidlertid afvigende tendenser ved lave frekvenser, hvorfor de må forventes at have en vis gyldighed. Årsagen til, at beregningerne medtager frekvensområdet ned til 50 Hz, er ønsket om eksplicit at undersøge vindueskonstruktionernes lydisolation for lavfrekvent trafikstøj.

Ved tværgående sammenligning ses:

- Vindueskonstruktioner med stor glasafstand (fig. 4, 9, 10, delvis 19) har et udpræget maksimum i støjen ved resonansfrekvensen. Tilsyneladende bliver støjen kraftigere, jo lavere resonansfrekvensen er. Tilsvarende resultater er i [4,17] vist for et stort antal koblede vinduer, bestående af en 4-12-4 termorude koblet i 35-80 mm afstand fra et enkelt ca. 3 mm udvendigt glas. Da resonansfrekvensen for vinduer med stor glasafstand ofte er



omkring eller lavere end 100 Hz, belyses disse forhold ikke tilstrækkeligt ved standardiserede bygningsakustiske målinger, hvor kun frekvensområdet 100-3150 Hz undersøges.

- 2-lagsruder med hulrumsfyldning af tung gas (fig. 16 og 20 sammenlignet med fig. 15 og 18) har mere udpræget resonansmaksimum end de samme ruder med atmosfærisk luft. Den forbedring af lydisolationen, som gasfyldningen medfører, sker især i frekvensområdet omkring og over 500 Hz, hvor indflydelsen på det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen er ringe. Derimod medfører den forringede lydisolation ved resonansfrekvensen en tydelig forøgelse af trafikstøjen indendørs. Ved fyldning af det største af en 3-lagsrudes hulrum med tung gas (fig. 14, sammenlignet med fig. 13), opstår tilsyneladende ingen ulemper.
- Fig. 21 viser et lidt overraskende resultat, at en udmærket lydisolation (det laveste L_{Aeq} , jævnt spektrum) opnås med en 2-lagsrude med kun 6 mm hulrum. Et næsten tilsvarende spektrum ses i fig. 5. Forklaringen på disse gunstige resultater antages at være en dæmpende virkning af de meget tynde hulrum, hvorved resonansfænomenerne i nogen grad undertrykkes.

3.2 Optimal vindueskonstruktion

På grundlag af konklusionerne fra [7,8] og resultaterne af beregningseksemplerne med trafikstøj kan der udledes en række generelle anvisninger for opbygningen af vinduer med optimal lydisolation over for trafikstøj:

- Da frekvensområdet over ca. 1000 Hz ikke har indflydelse på det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen indendørs, opnås ingen fordel ved at forsyne et vindue med lamineret rude i forhold til en massiv rude af samme tykkelse. Forholdene er dog ikke undersøgt for laminater tykkere end 8 mm.



- Hulrumsfyldning med tung gas forringer lydisolationen af ruder med mindre hulrum end ca. 12 mm væsentligt. Forringelsen for 2-lagsruder med større hulrum er mindre udtalt. Ved fyldning af det største af en 3-lagsrudes hulrum med tung gas opnås en vis forbedring af lydisolationen.
- Asymmetrisk opbyggede ruder har højere lydisolation end symmetriske. Der opnås i almindelighed en betydelig forbedring ved at forøge tykkelsen af det ene glas i en rude fra 4 til 6 mm, mens virkningen af en yderligere forøgelse er mindre udtalt.
- Den optimale hulrumsdybde er ikke særlig éntydig. For 2-lagsruder er små hulrum (mindre end ca. 9 mm) tilsyneladende optimale, mens 3-lagsruder bør opbygges af et lille (f.eks. 6 mm) og et stort hulrum.
- De store hulrum, som fremkommer i vinduer med koblede rammer eller vinduer med forsatsvinduer, er ikke i alle tilfælde en lydteknisk heldig konstruktion. For en række vinduestyper vil lydisolationen ved resonansfrekvensen, som ofte er i nærheden af eller lavere end 100 Hz, være meget lav. Det medfører et markant maksimum i trafikstøjen indendørs.

4. UDELUFTVENTILERS LYDISOLATION

I de eksisterende bygningsreglementer er der opstillet krav om tilførsel af udeluft til boliger. I forbindelse med undersøgelser eller gennemførelse af forbedringer af boligers lydisolation, hvor tætning af vinduerne er en af de højest prioriterede foranstaltninger [1-6], nævnes ofte behovet for tilstrækkeligt luftskifte i boligerne ad andre veje end utætheder. Derfor er interessen for udeluftventiler med tilstrækkelig høj lydisolation stigende.



Lydteknisk Institut har i samarbejde med Rådgivende Ingeniørfirma Johs. Jørgensen A/S udført et projekt om udeluftventiler [18]. Herunder er de lufttekniske og lydisolationsmæssige egenskaber af en række markedsførte udeluftventiler undersøgt, og der er udarbejdet vejledning for bygningsakustisk projektering med udeluftventiler. Lydisolationen for udeluftventiler er desuden berørt i blandt andet [1,2].

4.1 Beregning af trafikstøj indendørs for forskellige udeluftventiler

På grundlag af måleresultaterne for lydisolations i [18] er der gennemført et mindre antal beregninger i lighed med foregående afsnit. Beregningsforudsætningerne er som beskrevet i afsnit 3.1, og resultaterne er udtrykt som bidraget til det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøjen indendørs transmitteret via udeluftventilerne for et L_{Aeq} udendørs i frit felt på 80 dB re 20 μ Pa.

Beregningsresultaterne er vist i fig. 22-25 og sammenfattet i tabel 2.



Fig.	Udeluftventil	Bidrag til A-vægtet trafikstøj, dB re 20 μ Pa	ΔL_A , dB	$D_{I,w}$, dB
22	Murventil; 180 cm ² kvadratisk og 35 cm lang rørgennemføring; klapventil med 50 cm ² tvangsåbning.	52	28	21
23	Spalteventil; 30 cm ² spalte udførset i 7,2 cm tyk vinduesramme; afdækket med perforeret plade med ca. 8 cm ² åbning.	48	32	25
24	Murventil, lyddæmpet. Ventil som i fig. 22, rør beklædt indvendigt med 30 mm mineraluld.	45	35	30
25	Lyddæmpet udeluftventil. Aluminiumenhed til anbringelse ved vindue, åbning ca. 85 cm ² , opbygget som labyrintlydsluse med absorberende skum.	40	40	38

Tabel 2 Lydisolation og A-vægtet lydtrykniveaubidrag indendørs fra udeluftventiler. ΔL_A er forskellen mellem A-vægtet lydtrykniveau af udendørs trafikstøj i frit felt og bidraget indendørs. $D_{I,w}$ er enhedslydisolationen for udeluftventiler baseret på laboratoriemålt reduktionstal normeret til et areal på 1 m².

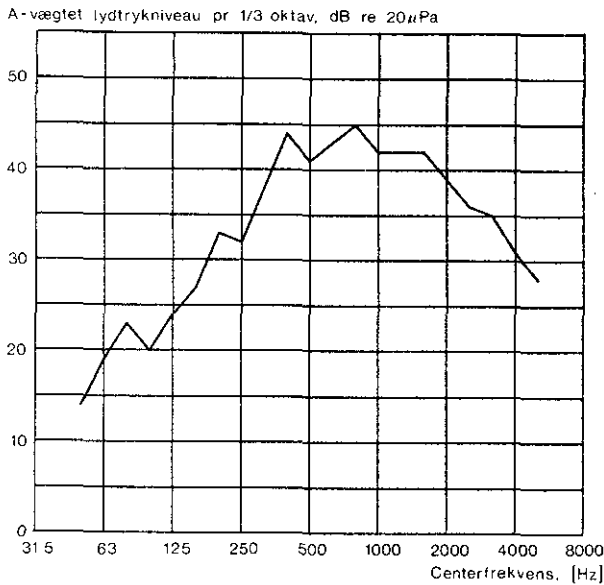


Fig. 22 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 52$ dB re 20 μ Pa. Bidrag fra murventil (180 cm² rørgennemføring og klap med 50 cm² tvangsåbning).

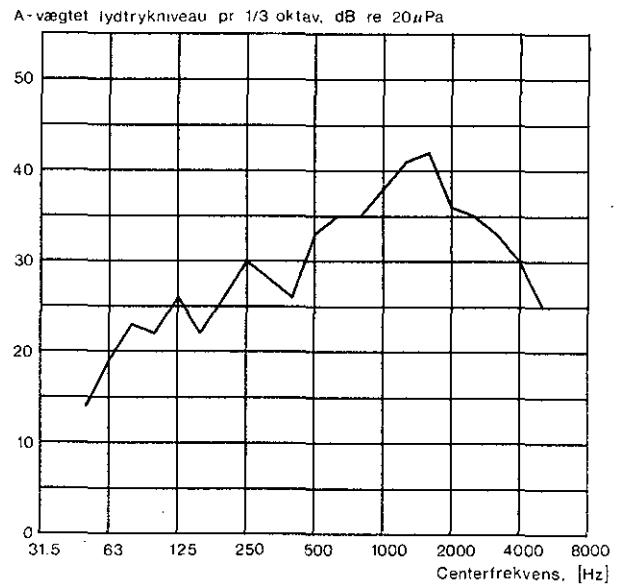


Fig. 23 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 48$ dB re 20 μ Pa. Bidrag fra spalteventil i vinduesramme (udfræset spalte 30 cm², afdækket med perforeret plade med ca. 8 cm² åbning).

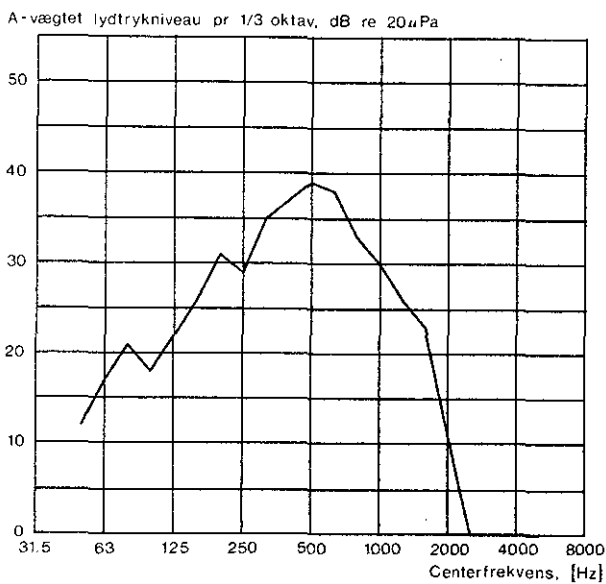


Fig. 24 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 45$ dB re 20 μ Pa. Bidrag fra lydæmpet murventil (samme ventil som fig. 22, rør beklædt med 30 mm mineraluld).

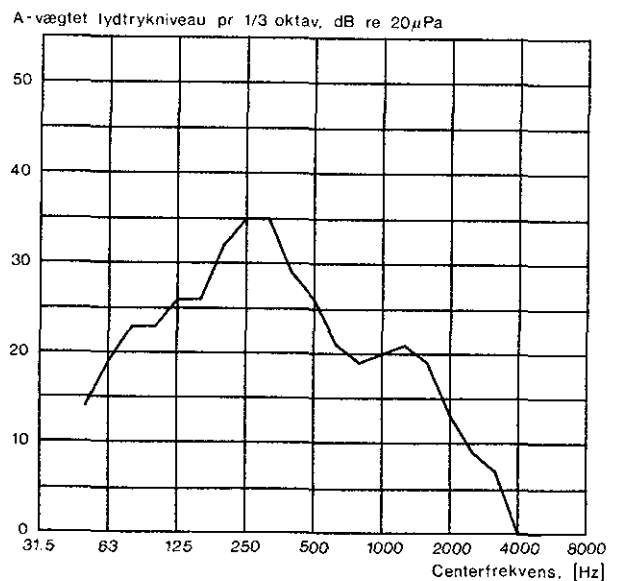


Fig. 25 Indendørs A-vægtet lydtrykniveau, $L_{pA} = 40$ dB re 20 μ Pa. Bidrag fra lydæmpet udeluftventil med ventilator. (Aluminiumsenhed til anbringelse i tilknytning til vindue, åbning ca. 85 cm², opbygget som labyrintlydsluse.)



Det ses af fig. 22-23, at det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøj indendørs for to traditionelle udæmpede ventiler er domineret af forholdsvis høje frekvenser i området ca. 500-2000 Hz. Støjbidragene er af samme størrelse som bidraget transmitteret gennem et sædvanligt vindue på ca. 1,5 m² med enkelt 3 mm glas, fig. 7. De udæmpede ventiler vil altså i de fleste tilfælde udgøre den mest betydende transmissionsvej for trafikstøj.

Fig. 24 viser resultatet for en meget simpel forbedring af en traditionel murventil, og fig. 25 viser resultatet for en forholdsvis stor og kompliceret enhed, som kan leveres med indbygget ventilator. Begge de lyddæmpede ventiler giver lavere indendørs A-vægtede trafikstøjbidrag end de udæmpede, og for ventilen fra fig. 25 er bidraget endog lavere end den støj, der transmitteres igennem de bedst lydisolerende af de undersøgte vinduer. Forskellen mellem de to lyddæmpede ventiler fremtræder især i frekvensområdet mellem 400 og 2000 Hz, hvor den komplicerede ventilenhed har 10-15 dB bedre lydisolation.

4.2 Sammenfatning

Det fremgår af de gennemregnede eksempler og af resultaterne i [18], at traditionelle ikke-lyddæmpede udeluftventiler har en utilstrækkelig lydisolation. Støjbidraget, som transmitteres gennem sådanne ventiler, vil ofte være dominerende for trafikstøjen indendørs.

Udeluftventiler med lydabsorberende, indvendig beklædning af en lige murgennemføring har lidt højere lydisolation. Støjbidraget transmitteret gennem denne type af ventiler vil være af samme størrelse som det bidrag, der transmitteres gennem et sædvanligt og godt tætnet termovindue (4-12-4). I en række tilfælde vil lydisolationen af denne type ventiler være tilstrækkelig.

Den bedst lydisolerende type af udeluftventiler er opbygget som en labyrintlydsluse. Denne konstruktion består principielt af



et kanalstykke indvendigt beklædt med lydabsorberende materiale og med åbninger anbragt, så luften (og lyden) skal passeret ét eller flere knæk. Herved kan opnås, at støjbidraget transmitteret gennem udeluftventilen er mindre end eller af samme størrelse som det bidrag, der transmitteres igennem godt lydisolerende vinduer.

Andre udformninger af labyrintlydsluser er vist i [1,2]. I fig. 26 er vist et eksempel fra [2], som forventes at have lydmæssige egenskaber fuldt på højde med resultaterne i fig. 25.

Frekvenssammensætningen af det støjbidrag, som transmitteres igennem udeluftventiler, adskiller sig generelt fra det bidrag, som er transmitteret igennem vinduer. Det kraftigste energiindhold findes ved højere frekvenser i området mellem 200 og 2000 Hz.

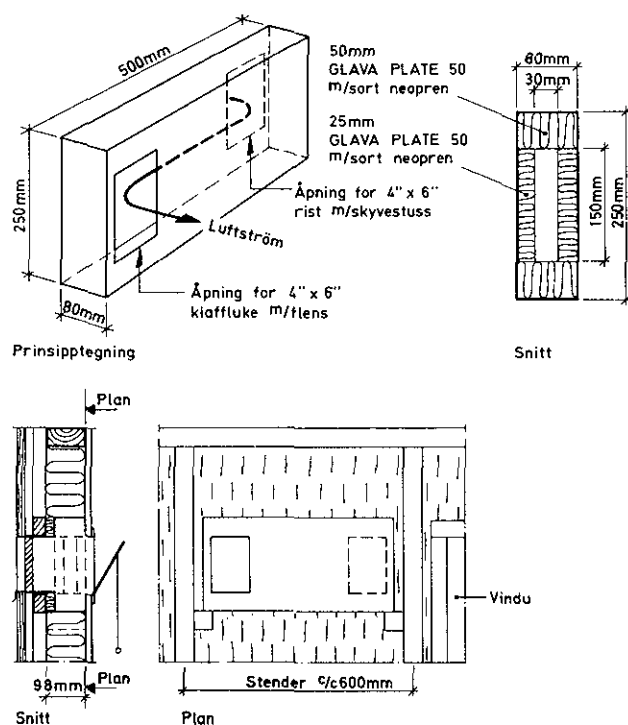


Fig. 26 Eksempel på lydisolerende udeluftventil opbygget som labyrintlydsluse [2].

Ved projektering af byggeri i støjbelastede områder kan det forekomme, at kravene til udeluftventilers lydisolation er så store, at andre løsninger må overvejes for at sikre boligernes luftskifte. Ikke mindst hensynet til udeluftens kvalitet taler



for at placere udeluftindtag på bygningernes bagside, hvor lydtrykniveauet af trafikstøjen er betydeligt lavere [19].

5. LYDISOLATION AF YDERVÆGGE OG TAGE/LOFTER

Traditionelle tunge ydervægge af beton eller murværk har så høj lydisolations, at det støjbidrag, der transmitteres gennem væggen, normalt er ubetydeligt i forhold til støjbidrag transmitteret gennem et vindue og/eller en udeluftventil.

Lette ydervægge med beklædning af brædder eller plader (glasal, eternit, stål eller lignende) samt massive vægge af letbeton har betydeligt lavere lydisolations. Ydervægge af denne type bør ikke benyttes ved nybyggeri i støjbelastede områder. Ved forbedring af lydisolationsen i eksisterende bygninger er det i almindelighed nødvendigt - udover at forbedre vinduer og udeluftventiler - desuden at begrænse lydtransmissionen gennem eventuelle lette ydervægge. Dette kan f.eks. ske ved opbygning af en indvendig forsatsvæg opsat frit i forhold til ydervæggen [1,2,4]. Foranstaltningen er omkostningskrævende, ikke mindst fordi el- og varmeinstallationer normalt skal ændres.

Lette selvbærende ydervægelementer, f.eks. sandwichelementer, 0-energielementer, har en i almindelighed utilstrækkelig lydisolations [4,9].

Lydisolationsen af tag/loftskonstruktioner opbygget som et betondæk eller en tilsvarende tung og tæt konstruktion er så høj, at det i de fleste tilfælde ikke er nødvendigt at tage særligt hensyn til lydtransmissionen gennem tag/loft.

Traditionelle tagkonstruktioner med høj rejsning har oftest en ringe lydisolations. En tilstrækkelig høj lydisolations må derfor opnås ved, at loftet i den øverste etage (eller loft, skrå- og skunkvægge i bygninger med udnyttet loft) er tæt og tilstrækkelig tungt. En egnet konstruktion er f.eks. en loftsbeklædning af 2 x 13 mm gipsplader med mindst 100 mm mineraluld over [4,



6]. Ofte vil der alene af hensyn til varmeisoleringen vælges større isoleringstykkelser.

Lydisolationen af lave pladebeklædte tage er ligeledes i almindelighed lav, mens flade built-up tage i nogle tilfælde kan have en forholdsvis høj lydisolation [4]. I de fleste parcelhuse med disse tagkonstruktioner består loftet af en i lydmæssig henseende utæt brædde- eller pladebeklædning, som har en meget lav lydisolation [1,4]. Ved forbedring af lydisolationen skal loftsbeklædningen derfor udskiftes til en tæt og tilstrækkelig tung konstruktion i lighed med det foran anførte.

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at give generelle anvisninger om frekvensfordelingen af ydervægges eller tage/lofters lydisolation. Især om lofter og tage foreligger der et yderst spinkelt materiale.

Tunge ydervægge og tagdæk kan i almindelighed forventes at have en høj lydisolation ved lave frekvenser. Lydisolationen øges jævnt mod højere frekvenser. De bygningsdele, som er angivet at have ringere lydisolation, kan i mange tilfælde udvise særlig lav lydisolation ved lave frekvenser. Dette er eksempelvis tilfældet for lette pladebeklædte ydervægge, som kan have resonansfrekvenser omkring 100 Hz.

6. FORBEDRING AF LYDISOLATIONEN FOR EKSISTERENDE BYGNINGER

Ved forbedring af eksisterende bygningers lydisolation over for trafikstøj kommer en vinduesudskiftning næsten altid ind i overvejelserne. I mange tilfælde vil en tilstrækkelig forøgelse af lydisolationen imidlertid kunne opnås ved forbedring af de eksisterende vinduer. Omfanget af de nødvendige foranstaltninger afhænger af vinduernes konstruktion og tilstand, ligesom evt. udeluftventilers og de øvrige bygningsdeles lydisolation har betydning. Desuden spiller det en rolle, om der ønskes en forbedring af bygningens varmeisolation.



6.1 Forbedring af eksisterende vinduer

For at et vindue skal have en tilstrækkelig høj lydisolations, skal det være helt tæt. Der kan i mange tilfælde opnås en mærkbar forbedring af lydisolations - på omkring 5 dB - ved en effektiv tætning af eksisterende vinduer (retablering af karmfuge, opretning af vindue, montering af effektive tætningslister, udskiftning af lukkebeslag). Detaljerede anvisninger kan findes i [1,2,6]. Desuden er disse foranstaltninger helt nødvendige, hvis et eksisterende vindues lydisolations skal forbedres ved opsætning af lydisolerede forsatsvinduer. I disse tilfælde skal der dog tilvejebringes en kontrolleret ventilation af hulrummet til det fri for at undgå kondensproblemer.

Ved beskedne krav til yderligere forbedring af lydisolations kan forsatsvinduet være et traditionelt, tæt, oplukkeligt forsatsvindue med enkeltglas. Større krav til lydisolations kan opfyldes af forsatsvinduer med termo-lydruder, monteret lydmas-sigt adskilt fra det eksisterende vindue. I alle tilfælde bør glasafstand og glastykkelse af forsatsruden vælges, så resonansfrekvensen (f_0 eller f_{01}) bliver lavere end 80 Hz, da lydisolationsforbedringen ellers er tvivlsom.

6.2 Udskiftning af vindue

Ved udskiftning af vinduerne kan der vælges nye vinduer med traditionelle termoruder eller med særligt optimerede termolydruder. Det er specielt vigtigt ved valg af vinduer med høj lyd-isolation, at disse er forsynet med tilstrækkelige tætningsar-rangementer (to tætningsplaner med god indbyrdes afstand) og effektivt lukketøj (3-punktslukning).

I tabel 3 omstående er fra [6] gengivet en liste over forventet lydisolations af forskellige vinduesudførelser. Ud fra resultaterne i nærværende delrapports kapitel 3 må der i nogen grad tages forbehold over for lydisolations af koblede vinduer og vinduer med forsatsvinduer i lille afstand fra det udvendige



vindue. Ved valg af tilstrækkelig gode termo-lydruder skulle det være muligt at opnå en lydisolations på $R'_w = 40$ dB for vinduet.

6.3 Øvrige foranstaltninger

I forbindelse med forbedring af bygningers lydisolations er det nødvendigt at forsyne eventuelle udeluftventiler med lydsluger, eventuelt efter labyrintprincippet, jf. kapitel 4, eller at afblænde dem og tilvejebringe et tilstrækkeligt luftskifte på anden måde.

Ved lydisolering af bygninger, hvor der forekommer betydende lydtransmission gennem tag/loft, som f.eks. de fleste nyere parcelhuse og etageboliger med udnyttet loftsetage, skal loftets lydisolations forbedres, eksempelvis ved udskiftning af loftbeklædningen.

I bygninger med lette facadeelementer bidrager disse med en ikke ubetydelig lydtransmission. Dette bidrag kan i mange tilfælde blive afgørende for den i praksis højest opnåelige lydisolations, fordi afhjælpende foranstaltninger kan være meget omkostningskrævende.



Vinduesopbygning	Glasafstand, mm				
	under 26	26-75	76-150	151-300	over 300
Vindue før genopretning	15-20				
Vindue efter genopretning	25				
Genoprettede vinduer med forsatsruder:					
I koblede rammer		30			
I forsatsrammer fast- gjort på vindueskarm			35	-	-
I plastrammer		30	35	35	40
I forsatsrammer i karm med eller uden fals			35	35	40
Genoprettede vinduer med forsatsvinduer:					
Isat termoruder			40	40	45
Isat termolydruder			40	45	45
Genoprettede vinduer isat nye rammer:					
Enkeltrammer med termoruder	30				
Enkeltrammer med termolydruder	35				
Koblede rammer med enkeltruder eller med enkeltrude plus termorude		30			

Tabel 3 Forventet lydisolations (vægtet tilsyneladende reduktionstal R'_w) for forskellige vindueskonstruktioner [6].



7. NYT BYGGERI MED HØJ LYDISOLATION

Ved planlægning af nyt byggeri i støjbelastede omgivelser kan en lang række problemer i relation til lydisolation løses relativt enkelt og økonomisk optimalt allerede ved projekteringen.

I første række kan byggeriets overordnede udformning vælges, så støjbelastningen på flest mulige af facaderne minimeres ved at udnytte skærmvirkningen af selve bygningerne. De mest støjbelastede facader kan udformes uden eller med få og små vinduer ind til ikke-støjfølsomme rum. Disse principper er detaljeret beskrevet og eksemplificeret i [19].

Ved valg af ydervægge og evt. tagdæk bør tunge konstruktioner foretrækkes, da der herved opnås en højere sikkerhed for tilstrækkelig lydisolation.

Mens almindelige vinduer med forseglede lydruder ikke i praksis kan fremstilles med en væsentligt højere lydisolation end $R_w = 40$ dB [7,8], er der mulighed for ved at kombinere et ydre vindue med et forsatsvindue med lydruder at opnå væsentlig højere R_w .

I denne forbindelse skal det påpeges, at der ved en utilstrækkelig glasafstand ofte opnås en resonansfrekvens i nærheden af eller lidt lavere end 100 Hz, som vil være kraftigt fremtrædende i den indendørs trafikstøj, og som derved vil nedsætte den i praksis opnåelige dæmpning af trafikstøjen. Ved udformning af vinduesløsninger med forsatsruder bør det tilstræbes, at den laveste resonansfrekvens i hvert fald er lavere end 80 Hz.

En anden praktisk forekommende begrænsning af et vindues lydisolation kan opstå ved montering i en vinduesniche, som har sammenfaldende dimensioner med rudens hulrum [12]. Dette fænomen kan f.eks. undgås ved, at vinduet monteres i en bred ramme, selv om det ikke er oplukkeligt.



8. DISKUSSION

I denne delrapport er der givet en oversigt over forskellige bygningsdeles lydisolation. På grundlag heraf er der summarisk givet anvisninger på forbedring af lydisolationen for eksisterende bygninger og på planlægning og projektering af nybyggeri med høj lydisolation. I delrapportens kapitler 3 og 4 er der gennemført beregninger af det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøj indendørs for en udvalgt række vindueskonstruktioner og udeluftventiler.

Resultaterne af disse beregninger illustrerer tydeligt, at vejtrafikstøj indendørs ofte er domineret af lavfrekvent støj, som antagelig har en anden virkning på den oplevede gene end på det målte L_{Aeq} . Ved sammenligning af f.eks. de støjspektre i kapitel 3 fig. 4 og 5, som har samme L_{Aeq} , bemærkes, at det lavfrekvente energiindhold er betydeligt større i spektret i fig. 4.

Det er nævnt i litteraturen i forskellige sammenhænge, at den generende virkning af støj med et "irregulært" spektrum, f.eks. med kraftigt lavfrekvent indhold, er større end af støj med et mere regulært "fladt" frekvensforløb. Det påpeges, at den sammenhæng, som må antages at være påvist mellem gene af støj med regulært frekvensforløb, f.eks. trafikstøj udendørs, og L_{Aeq} , ikke er gyldig for støj med et irregulært spektrum.

Beregningsresultaterne i kapitel 3 har i øvrigt en interessant sammenhæng med resultaterne i delrapport 1, omhandlende fysiske karakteristika for støjen fra tunge køretøjer. Det konkluderes heri, at middelværdierne af støjspektre for lette og for tunge køretøjer ikke er nævneværdigt forskellige. I korte tidsrum kan der imidlertid forekomme kraftig, lavfrekvent støj fra tunge køretøjer, hvilket ikke er tilfældet for lette køretøjer.

I de - ikke specielt atypiske - tilfælde, hvor bygningernes lydisolation er dårlig ved lave frekvenser på grund af resonans i ruderne, vil den kortvarige lavfrekvente støj fra tunge køretøjer være meget fremtrædende indendørs. Dette kan være årsag til det hyppigt fremsatte udsagn, at støjen fra tunge køretøjer er mere lavfrekvent og mere generende end støjen fra lette køretøjer.



Spørgsmålet om gene af trafikstøj indendørs er desuden relevant at få afklaret i forhold til klassificering af vinduers lydisolations. Klassificeringen har til formål at lette valget af vinduer til opnåelse af en foreskrevne resulterende facadelydisolations og dermed overholdelse af et givet A-vægtet lydtrykniveau indendørs. Det A-vægtede lydtrykniveau er fastsat for at sikre beboerne imod støjgener.

Det har ofte været diskuteret, blandt andet [8,14], om angivelse af vinduers lydisolations, f.eks. i forbindelse med klassificering, mest hensigtsmæssigt skulle ske med det vægtede reduktionstal, R_w , eller med eksempelvis differensen ΔL_A mellem det A-vægtede lydtrykniveau af trafikstøj ude og inde. Som argument for at karakterisere vinduer med R_w fremføres, at dette mål er internationalt standardiseret, og at det er entydigt i modsætning til ΔL_A over for forskellige trafikstøjspektre. Endelig er der flere gange, blandt andet [14], demonstreret en rimelig god sammenhæng mellem R_w og ΔL_A for vejtrafikstøj. Denne sammenhæng fremgår også af tabel 1 i afsnit 3.1 i nærværende delrapport; med de valgte forudsætninger fås endog omtrent samme talværdier af R_w og ΔL_A . Imidlertid viser diskussionen af optimal lydisolations, afsnit 3.2, at nogle af de foranstaltninger - f.eks. laminering og gasfyldning - som benyttes til at forøge R_w nogle få dB med henblik på optimering, ingen indflydelse har på ΔL_A . Det er altså ikke nødvendigvis de samme foranstaltninger, der virker forbedrende på R_w og ΔL_A .

Det A-vægtede lydtrykniveau, L_{Aeq} , af vejtrafikstøj indendørs giver "i første tilnærmelse" et mål for den oplevede grad af gene. Det er imidlertid ret sikkert, at L_{Aeq} ikke giver en så nøjagtig beskrivelse af forandringer i genen ved forandring af lydisolations, at man på grundlag af L_{Aeq} -betragtninger kan anbefale den ene eller den anden af de anvendte et-talsmål, ΔL_A og R_w , til angivelse af vinduers (facaders) lydisolations.

Det er i høj grad påkrævet at iværksætte undersøgelser til belysning af genen af trafikstøj indendørs.



9. REFERENCER

- [1] "Bygningers lydisolation overfor vejtrafikstøj". Vejdatalaboratoriet Rapport 25. København 1979, samt "Kastrup-Katalog". En oversigt over de tekniske muligheder for isolering mod flystøj, Rådg.Ing.fa. Johs. Jørgensen A/S. Miljøstyrelsen, København, december 1980.
- [2] Hveem, S.: "Isolering mot utendørs støy". Anvisning 19, Norges byggforskningsinstitut 1979, revideret 1981. Oslo 1981.
- [3] "Varmeisolerende foranstaltningers lydisolerende effekt", Jydsk Teknologisk Institut. Miljøprojekt 21. Miljøstyrelsen, København, 1980. Samt supplerende data fra Jydsk Teknologisk Institut (1982).
- [4] Kristensen, J., m.fl.: "Bygningers lydisolering, nye bygninger", SBI-anvisning 112, 2. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1983.
- [5] "Forbedring av lydisolering i boligfasader". Styringsgruppe for reduktion av ulemper fra vegtrafikkstøy, rapport 3. Oslo helseråd 1977.
- [6] Kristensen, J.: "Bygningers lydisolering, ældre bygninger". SBI-anvisning 136. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1983.
- [7] Rasmussen, B.: "Optimering af lydisolationen for 2-lags termoruder". Lydteknisk Institut rapport 113, Lyngby 1984.
- [8] Rasmussen, B.: "Optimering af lydisolationen for 3-lags termoruder". Lydteknisk Institut rapport 128, Lyngby 1985.
- [9] Kristensen, J., Kjær, J.: "Klimaskærmens lydforhold". SBI-notat 81. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1978.
- [10] Andersen, B.: "Facades lydisolation over for vejtrafikstøj". Lydteknisk Laboratorium rapport 37, Lyngby 1982.



- [11] Ballisager, I., m.fl.: "Akustik for bygningsteknikere. Teknologisk Instituts Forlag, Tåstrup 1976.
- [12] Michelsen, N., Rasmussen, B.: "Laboratory Effects on the Measured Sound Reduction Index of Windows and Glazings". Lydteknisk Laboratorium rapport 34, Lyngby 1982.
- [13] DS 1084-1982. "Vinduer - Lydisolation - Klassifikation". Dansk Standardiseringsråd, Hellerup 1982.
- [14] Jonasson, H.G.: "Ljudklassning av fönster". Byggeforskningsrådet rapport R125:1985, Stockholm 1985.
- [15] Jakobsen, J.: "Prediction of Noise Emission from Facades of Industrial Buildings". Lydteknisk Laboratorium rapport 25, Lyngby 1981.
- [16] Kårfalk, G.: "Generaliserade trafikbullerspektra". Rapport 77-20, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1977. Samt originalt datamateriale.
- [17] "Feltmålinger av isolasjon av nye lydvinduer, 1982". Oslo Helseråd, december 1982, ISBN 82-7309-010-8, Oslo 1982.
- [18] "Lydisolation for udeluftventiler, en vejledning", under udarbejdelse. Lydteknisk Institut rapport -, Lyngby 1986.
- [19] "Projektering af boligbebyggelse i støjbelastede byområder. Eksempelsamling". Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet og Miljøstyrelsen, København 1983.



APPENDIX

Tabel over reduktionstal for beregningerne i afsnit 3.1 og 4.1



APPENDIX

Reduktionstal [dB]

Fig.nr.	3	4	5	6	7	8	9	10
Konstruktion	15 cm beton	3-12-3+ 35+3	6-6-5 15-4	3-12-3- 12-3	3	4-12-4	3+130+3	3+130+4- 12-4
Ref.	[11]	[14]	[14]	[14]	[3]	[3]	[3]	[3]
Frekvens [Hz]								
50	(35)	30	30	25	12	24	16	24
63	(37)	25	22	19	18	26	18	22
80	(39)	21	21	28	11	17	8	13
100	41	17	18	25	14	21	17	25
125	40	12	18	20	17	24	17	29
160	36	21	19	18	19	23	22	35
200	42	25	22	19	18	14	27	27
250	45	25	23	25	16	21	26	34
315	47	29	26	26	19	26	29	34
400	52	30	29	32	21	27	28	37
500	54	32	33	34	22	29	35	39
630	55	37	34	36	24	33	35	40
800	57	38	38	36	25	35	37	42
1000	62	39	38	37	26	36	39	44
1250	63	39	37	35	27	38	41	44
1600	64	39	37	35	28	38	42	45
2000	67	38	36	40	28	39	44	47
2500	67	39	36	41	31	35	47	51
3150	68	40	(36)	40	34	36	50	54
4000	(68)	38	(36)	40	(34)	(36)	(50)	(54)
5000	(68)	38	(36)	41	(34)	(36)	(50)	(54)
R_w/R'_w	-	35	34	35	26	33	37	42



APPENDIX

Reduktionstal [dB]

Fig.nr.	11	12	13	14	15	16	17	18
Konstruktion	4-6-4-6-4	6-12-4-6-4	8-12-4-6-4	8-12-4-6-4 GL	4-12-4	4-12-4G	6-12-4	8-12-4
Ref.	[8]	[8]	[8]	[8]	[7]	[7]	[7]	[7]
Frekvens [Hz]								
50	(21)	(26)	(24)	(22)	(19)	(16)	(21)	(21)
63	(23)	(28)	(26)	(24)	(21)	(18)	(23)	(23)
80	(25)	(30)	(28)	(26)	(23)	(20)	(25)	(25)
100	27	32	30	28	25	22	27	27
125	25	23	19	18	23	21	24	25
160	23	22	21	28	22	17	23	21
200	16	23	26	26	18	18	21	27
250	20	29	32	33	21	15	27	28
315	26	34	35	37	25	25	31	35
400	26	35	35	40	20	35	33	31
500	31	38	37	39	32	37	36	35
630	34	41	41	41	35	42	39	40
800	35	41	42	44	38	42	40	42
1000	36	42	44	44	39	43	40	43
1250	40	44	43	42	41	43	42	41
1600	42	46	44	43	43	44	43	41
2000	45	46	46	46	44	42	43	41
2500	43	44	46	46	40	39	40	42
3150	34	38	40	40	32	30	35	39
4000	37	40	44	44	35	34	37	41
5000	41	41	49	49	38	39	43	47
R_w	34	39	40	41	33	33	38	38



APPENDIX

Reduktionstal [dB]

Fig.nr.	19	20	21	22	23	24	25
Konstruktion	8-20-4	8-12-4G	8-6-4	Murventil	Spalteventil	Murventil dæmpet	Lyddæmpet ventil, labyrint
Ref.	[7]	[7]	[7]	[18]	[18]	[18]	[18]
Frekvens [Hz]							
50	(20)	(23)	(25)	(27)	(25)	(29)	(24)
63	(22)	(25)	(27)	(29)	(27)	(31)	(26)
80	(24)	(27)	(29)	(31)	(29)	(33)	(28)
100	26	29	31	33	31	35	30
125	21	24	26	30	28	32	28
160	18	20	26	28	33	29	29
200	26	21	28	24	31	26	25
250	32	27	28	27	29	30	24
315	36	36	28	22	32	24	25
400	34	40	30	16	34	23	31
500	36	40	34	21	29	23	36
630	41	42	37	20	28	25	42
800	42	43	37	18	28	30	44
1000	43	44	37	22	26	34	44
1250	41	41	38	22	23	38	43
1600	40	40	38	21	21	40	44
2000	42	41	40	22	25	50	48
2500	43	41	41	23	24	55	50
3150	40	38	38	22	24	54	50
4000	43	41	40	23	24	49	49
5000	48	47	43	23	26	47	52
$R_w/D_{I,w}$	39	40	38	21	25	31	38



VIRKNINGEN AF ADMINISTRATIVE OG PLANLÆGNINGSMÆSSIGE INDGREB

Udarbejdet af Jørgen Kragh

INDHOLD

	Side
0. SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	3
1. BAGGRUND	4
2. FORMÅL	6
3. AFGRÆNSNING	6
4. OVERSIGT	7
5. STØJKILDERNE	9
5.1 Skærpede støjgrænser	10
5.2 Kontrol af støjgrænser	18
5.3 Vejbelægning og bildæk	21
6. PLANLÆGNING	23
7. TRAFIKALE RESTRIKTIONER	24
7.1 Adgangsbegrænsning	24
7.2 Fartbegrænsning mv.	27
7.3 Information	33
8. STØJSKÆRME OG ISOLERING	34
9. REFERENCER	36





0. SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER

Støjen fra tunge køretøjer er af meget stor betydning for de trafikstøjgener, der påføres mennesker, først og fremmest fordi tunge køretøjer giver ca. 10 dB højere støjniveauer i trafikken end personbiler.

Det er teknisk muligt at fremstille tunge køretøjer, der støjer langt mindre, end det er almindeligt i dag, også uden at de støjsvage biler er urimeligt dyre i anskaffelse (+5%), brændstofforbrug (+0%) eller vedligeholdelse (+1,5%). Tallene i parentes er vurderinger, der forudsætter serieproduktion.

Men bilfabrikkerne fremstiller ikke, og transportfirmaer og andre køber ikke støjsvage køretøjer uden en vis form for tvang eller incitament. Myndighederne bør prioritere følgende indgreb højt:

- 1) Skærpelse af grænser for støjudsendelsen. Støjgrænserne bør snarest skærpes til 80 dB(A) målt ved acceleration efter ISO/DIS 362 [1].
- 2) Indførelse af en særlig kategori af tunge køretøjer: "støjsvage køretøjer" med tilladelse til at køre i stilleområder, jfr. punkt 5).
- 3) Skarpet kontrol med, at støjgrænserne overholdes af ibrugværende køretøjer.
- 4) Grænser for støj fra hjælpeudstyr, for eksempel på renovationsbiler, fejmaskiner mv.
- 5) Afgrænsning af "stilleområder" - i bycentre og i boligområder - hvortil der kun er adgang for den særlige kategori "støjsvage køretøjer", jfr. punkt 2), og hvori farten er begrænset til ganghastighed.
- 6) Udlægning af nye, støjsvage vejbelægninger (for eksempel porøs asfalt) på større veje, især omkring stilleområder.

Mange andre indgreb har betydning for støjniveauet af den samlede trafik. Ud over skærpede støjgrænser for andre typer køretøjer (motorcykler, knallerter, person-



biler) kan nævnes følgende foranstaltninger, som er nærmere omfattet i denne delrapport:

- planlægning af arealanvendelse mv. med henblik på begrænsning af trafikens omfang
- øget kollektiv trafik
- støjsvage (lastbils)dæk
- trafikregulering, herunder optimeret drift af lyssignaler mv.

Der kan opnås væsentlige forbedringer over en kort årrække for begrænsede økonomiske midler.

1. BAGGRUND

Vejtrafikken er den støjkilde, som generer flest mennesker, i Danmark ca. en fjerdedel af befolkningen [2].

Ved undersøgelse af sammenhængen mellem vejtrafikstøjens niveau og den andel af befolkningen, som genereres af støjen, findes i reglen god sammenhæng mellem L_{Aeq} af trafikstøjen og det antal mennesker, der genereres. En del undersøgelser har imidlertid vist, at støjen fra tunge køretøjer i mange tilfælde er særligt generende. Der er derfor særlig grund til at begrænse støjen fra tunge køretøjer.

Redegørelsen
fra 1980

En dansk arbejdsgruppe med repræsentanter fra statslige, amtskommunale og kommunale myndigheder udarbejdede i 1978-80 en redegørelse [3], som bl.a. indeholdt forslag til handlingsprogram for bekæmpelse af støj fra vejtrafik. Blandt handlingsprogrammets hovedpunkter var

- skærpelse af grænser for støjudsendelsen
- øget kontrol med ibrugtagne køretøjer
- integrering af støjhensynet i den fysiske planlægning
- gennemførelse af trafikale foranstaltninger med støjbegrænsende virkning



- støjafskærmning og isolering af særligt
støjramt boligbebyggelse

Miljøstyrel-
sens rapport
fra 1980

I 1980 udsendte Miljøstyrelsen en rapport fra en arbejdsgruppe med deltagelse fra Ministeriet for offentlige Arbejder, Justitsministeriet, Hovedstadsområdets Trafikselskab, Lydteknisk Institut og Miljøstyrelsen [4].

I rapporten redegøres for lastbil- og busparkens sammensætning og kørselsarbejde. Metoder til måling af støjudsendelsen fra biler beskrives, og der gengives måleresultater for lastbiler og busser.

På baggrund af de gennemførte undersøgelser pegede arbejdsgruppen på følgende muligheder for at formindske støjudsendelsen fra tunge køretøjer:

- 1) De gældende danske regler om tilladt støjniveau skærpes i overensstemmelse med EF-direktiv 70/157 som ændret ved direktiv 77/212 (grænseværdierne for tunge køretøjer er gengivet i Tabel 2, p.11).
- 2) EF-direktivet revideres snarest, så væsentligt skærpede støjgrænser gennemføres fra midten af 1980'erne.
- 3) Kontrollen med ibrugværende lastbilers og bussers støjudsendelse udvides, bl.a. som led i de periodiske syn.
- 4) Offentlige og private transportvirksomheder tager hensyn til støjudsendelsen ved anskaffelse af nyt materiel.
- 5) Oplysninger om bilers støjudsendelse gøres let tilgængelige for brugerne (støjdeklaration).
- 6) Målemetoderne forbedres, så det målte støjniveau bedst muligt svarer til støjudsendelsen i trafikken.
- 7) Undersøgelser- og udviklingsarbejdet fortsættes. Herunder bedømmes de økonomiske konsekvenser af de nævnte muligheder.

Udviklingen
siden 1980

Den væsentligste udvikling siden 1980 på dette område har været påvisningen af, at det er muligt at nedbringe



støjen fra tunge køretøjer væsentligt, jfr. delrapport 2. Der har især været arbejdet med dette i Vesttyskland, men også i England, Holland og USA, og arbejdet er stadig i gang.

2. FORMÅL

Formålet med denne delrapport er at opsummere vigtige resultater af det ovenfor nævnte udviklingsarbejde og pege på delområder, der bør have høj prioritet i myndighedernes arbejde med at bekæmpe støjen fra tunge køretøjer. Målsætningen har været at redegøre så godt som muligt for

- hvad der kan gøres,
- hvad det koster,
- hvilken virkning det har, og
- hvem der skal gøre det.

Det vil næppe være muligt at gennemføre alle de foreslåede foranstaltninger inden for en kort årrække. Derfor må den administrative indsats tilrettelægges, så der opnås størst mulig virkning af de midler, der investeres i at formindske støjen fra tunge køretøjer.

3. AFGRÆNSNING

Projektet har alene handlet om virkninger af forskellige indgreb på de A-vægtede lydtrykniveauer (L_{Aeq} og L_{pAmax}) og ikke om graden af gene. Rekvirenterne har ikke ønsket graden af gene behandlet, fordi der gennemføres et parallelt svensk projekt om dette emne [5].

Omkostningerne ved forskellige indgreb er angivet ved citater fra litteraturen. Der er ikke i dette projekt gennemført egentlige økonomiske konsekvensvurderinger.



Oprindeligt skulle projektet først og fremmest behandle den lavfrekvente støj fra tunge køretøjer. Som omtalt i delrapport 1 viste det sig, at der ikke er så stor forskel på frekvensspektrene af støjen fra tunge køretøjer og personbiler i bytrafik som forventet. Denne fjerde del af rapporten handler derfor mere om, hvad man generelt kan gøre for at formindske støjen fra tunge køretøjer, end om specielt den lavfrekvente del af støjen.

4. OVERSIGT

I dette afsnit gennemgås kort nogle af de indgreb, der kan foretages administrativt for at begrænse vejtrafikstøjen. I afsnit 5 gives en nærmere omtale af de indgreb, som har størst virkning over for støjen fra tunge køretøjer.

Begrænsningen af vejtrafikstøjen bør først og fremmest ske ved begrænsning af støjudsendelsen fra køretøjerne, fordi denne virkning opnås overalt, hvor køretøjerne færdes. De øvrige omtalte mulige indgreb har derimod kun virkning lokalt.

Støjkilderne Der er to aspekter af begrænsningen af støjudsendelsen, nemlig a) køretøjets tekniske opbygning og b) måden, det køres på. Det vigtigste indgreb er skærpelse af støjgrænserne for godkendelse af køretøjer og skærpet kontrol med, at støjgrænserne overholdes af ibrugværende køretøjer.

Til støjkilderne hører også kombinationer af dæk og vejbelægning. Selektiv brug af støjsvage vejbelægningsarter kan blive et effektivt middel til formindskelse af støjen.

**Overordnet
planlægning**

Ved siden af indsatsen for at formindske støjen fra det enkelte køretøj er det vigtigt at begrænse den samlede



trafik. Dette kan bl.a. ske ved en planlægning, der formindsker kontoriseringen af bycentre og den deraf følgende pendlingstrafik og ved forøgelse af den kollektive trafik (ved takstpolitik, parkeringsrestriktioner osv.).

Den trafik, som alligevel skal frem, bør adskilles fra støjfølsomme områder. I byområder må der gennemføres trafiksanering, som bl.a. indebærer kanalisering af trafikken ad overordnede ruter, og gennemsivning af trafik gennem boligområder må forhindres ved vejafbrydelser, nedklasning af veje mv.

Trafikregulering

Støjudsendelsen kan begrænses ved begrænsning af køretøjernes fart og ved afvikling af trafikken i en jævn rytme, for eksempel via koordinering af lysregulering og information om den fart, man skal køre med for at nå den næste lysregulering, mens lyset er grønt.

I afgrænsede områder kan trafik helt forbydes, eventuelt blot i en del af døgnet eller blot for bestemte slags køretøjer. Dette er nærmere omtalt i afsnit 7.

Isolering

Uanset de ovenfor nævnte muligheder for at nedbringe trafikstøjen er trafikstøjproblemerne så store, at det nogle steder vil være nødvendigt at ty til forbedring af lydisoleringen af vinduer, facader mv. og eventuelt opsætning af skærme.

For eksempel vil lydisolering - med tilhørende løsning af luftskiftet i rummene - i mange tilfælde være nødvendig i boliger langs overordnede gader i byområder. Bedre lydisolerende vinduer mv. vil imidlertid altid være nødløsninger, fordi det principielt bør være muligt at have åbne vinduer uden at blive generet af trafikstøj. Brugen af altan, have og andre udendørs opholdsarealer "reddes" heller ikke af lydisolerende vinduer.



Ved udformning af bebyggelsesplaner kan bygninger undertiden med held udnyttes som støjskærm for bagved liggende opholdsarealer [6].

5. STØJKILDERNE

Målemetoder

Metoderne til måling af støjudsendelsen skal ikke omtales nærmere her, fordi emnet behandles i et parallelt finsk projekt. Metoderne er i øvrigt omtalt i [4]. Den almindeligt anvendte metode til måling af støj til certificeringsformål er måling ved forbikørsel under fuld acceleration, ISO 362.1) [1].

I Danmark måles efter metoden i EF-direktiv 70/157 svarende til ISO R362 (= DS 2070 fra 1966) [7]. De grænser, der siden 1981/82 har været gældende i Danmark for støj fra tunge køretøjer er vist i Tabel 1 [8].

Støjgrænser

Køretøj type, totalvægt	Motoreffekt [kW]	Grænseværdi L_{pAmax} [dB]
Personbil M_3 > 5 t (bus)	< 147	82
	<u>≥</u> 147	85
Lastbil N_2 3,5-12 t	-	86
Lastbil N_3 > 12 t	< 147	86
	<u>≥</u> 147	88

Tabel 1 Støjgrænser for tunge køretøjer [8].

I Danmark måles støjen fra det stillestående køretøj samtidigt med godkendelsen, og måleresultatet anføres i

1) Den korrekte betegnelse er DS/ISO 362. Her benyttes nummeret 362.2 for at skelne den fra ISO R362 fra 1964 [7].



godkendelsespapirerne²⁾). For ibrugværende køretøjer må dette støjniveau ikke overskrides med mere end 3 dB.

Støjen i trafikken

Måleresultater efter ISO 362.2 har god sammenhæng med den støj, tunge køretøjer udsender i trafikken [11-13]. For personbiler er dette mere tvivlsomt. Nogle er fortalere for at bibeholde ISO 362.2 [14], mens andre [11] taler for en ny målemetode beskrevet i [15]. Dette behandles i et parallelt norsk projekt.

Erfaringer fra de seneste års udviklingsarbejde i Vesttyskland tyder på, at selv om en lastbil ved hjælp af motorindkapsling mv. er bragt ned på et lavt støjniveau målt efter ISO 362.2, virker den ikke nødvendigvis støjsvag, subjektivt vurderet. Dertil kræves, at der er gjort noget specielt for at formindske støjudsendelsen fremad og bagud og ikke bare til siden, hvilket er det støjbidrag, der hovedsageligt måles efter ISO 362.2 [12]. Det er uklart, hvor meget den samlede støjudsendelse i trafikken kan være forskellig for to køretøjer med samme L_{pAmax} efter ISO 362.2 med og uden særlig støjdæmpning fremad og bagud. Det er uden for projektets rammer at belyse dette.

5.1 Skærpede støjgrænser

Tidsplan for støjgrænser

I Tabel 2 er tidsplanen vist for EF's regulativer om støjgrænser med ikrafttrædelsesdato og grænserne for tunge køretøjers støjudsendelse.

2) Resultater af målinger efter både metode II [8] (dvs. ISO R362, 7 m afstand) og metode IV [8] (dvs. ISO 5130, 0,5 m afstand [9]) accepteres af Justitsministeriet [10].



Type (> 3,5 t)	Motor- effekt [kW]	Støjgrænse			
		70/157 1970	77/212 1.10.1982	LpAmax [dB] 81/334 1.10.1985	84/424 1.10.1989
Bus	< 150	89	82	82	80
Bus	> 150	91	85	85	83
Lastbil	< 75	89	86	86	81
Lastbil	75-150	89	86	86	83
Lastbil	> 150	91	88	88	84

Tabel 2 Støjgrænser og ikrafttrædelsesdatoer, EF-direktiver, efter [12].

Ændring af målemetode

EF-direktiverne 77/212 og 81/334, indeholder jo de samme grænseværdier. Målemetoden blev ændret i 81/334, så lastbiler og busser nu skal testes i alle gear, som bruges i bytrafik. Dette svarer til en skærpelse på ca. 3 dB, i enkelte tilfælde op til 5 dB [12]. Den ændrede målemetode er endnu (december 1986) ikke indført i Danmark. Dette forventes at ske i april 1990 [10].

Som det ses af Tabel 2, er der tale om skærpelser på 7-9 dB plus ændringen i målemetoden, dvs. i hvert fald på 7-12 dB totalt, i løbet af 1980'erne. Støjgrænserne gælder nye køretøjer. Der går en årrække, før virkningen af skærpelsen bliver mærkbar.

Støjsvage lastbiler

Som tidligere omtalt er det i de seneste år lykkedes at udvikle støjsvage tunge køretøjer. De vigtigste ændringer er: lavere motoromdrejningstal, indkapsling af motor og gearkasse og forbedret udstødslyddæmper.

Magirus-Deutz opnåede 77 dB mod før 90 dB ved accelerationstest for en 7,5 t, 96 kW lastbil [12]. Den ændrede motorkonstruktion gav mindst 6-8% brændstofbesparelse. Merudgiften skønnes til ca. 5% ved serieproduktion.



Tilsvarende opnåede Mercedes-Benz 77 dB for en 5 t, 63 kW og 80 dB for 16 t henholdsvis 141 kW og 243 kW lastbiler [16]. Alt tyder på, at disse køretøjer vedbliver at være støjsvage efter lang tids drift, som i øvrigt er problemfri.

Foden / Rolls Royce opnåede under 82 dB for en 40 t, 238 kW lastbil. Merudgiften var 7½%, brændstofforbruget uændret og vedligeholdelsesudgifterne 1½% forøget [17]. Med forbedret udstødslyddæmper nåede Foden lastbilen 80 dB efter ISO 362.2 [18], her citeret fra [13].

Busser

Hovedstadsområdets Trafikselskab kræver 77 dB overholdt ved accelerationstest efter ISO 362.2. Grænsen overholdes generelt af de nyeste typer busser.

Sammenfatning

Ved indkapsling af motor mv. kan mange typer af tunge køretøjer i dag bringes til at overholde en støjgrænse på 80 dB efter ISO 362.2. Det er altså teknisk muligt at fremstille tunge køretøjer, der er væsentligt mere støjsvage end de køretøjer, der er almindelige i dag. En støjgrænse på 80 dB efter ISO 362.2 kan overholdes for en overskuelig merpris, 4-5%. Denne værdi er sat som mål af de nordiske miljøministre i 1984 [19], og den er væsentligt lavere end grænsen annonceret i EF-direktiv 84/424 til ikrafttrædelse i 1988/89. Der er derfor god grund til at arbejde for skærpelse af støjgrænserne i EF's direktiv i overensstemmelse med rådets målsætning.

Fordele til støjsvage

På grund af den forholdsvis langsomme udskiftningstakt for tunge køretøjer tager det lang tid, før skærpede støjgrænser resulterer i mindre trafikstøj. For at opnå en hurtigere virkning i udvalgte områder planlægges det i Vesttyskland at stimulere indførelsen af særligt støjsvage tunge køretøjer - altså mere støjsvage, end reglerne i EF-direktiv 84/424 foreskriver - ved at give særlige fordele til brugerne af sådanne køretøjer. Dis-



Driftsforhold	Grænseværdi A-vægtet lydtrykniveau [dB] Motoreffekt		
	<75 kW	75-150 kW	≥ 150 kW
Forbikørsel 81/334/EEC ¹⁾ (acceleration)	77	78	80
Motorbremsning "ISO målested" ca. 40 km/h	77	78	80
Trykluftstøj Udluftning 2 mikrofonpositioner 7 m fra siden af køretøjet	72	72	72
Diverse støj (direktivitet) Fuld gas fra tomgang, 8 mikrofonpositioner om- kring køretøjet, 7 m afstand	77	78	80
Hjælpeudstyr (se også p.16) Maksimal støjudsendelse Mikrofonpositioner 7 m afstand	65 ²⁾ (Ingen toner eller impusler)		

- 1) Målingerne stoppes ved det gear, hvor det regulerede om-
drejningstal ikke længere nås, for at begrænse indflydel-
sen fra rulningsstøj, se også [22].
- 2) Højere værdier kan fastsættes i selvstændige forordninger.

Tabel 3 Støjgrænser for særligt støjsvage tunge køretøjer,
totalvægt over 2,8 t, excl. busser [21].

se fordele kan for eksempel være undtagelser fra lokale
og tidsmæssige trafikrestriktioner, jfr. også afsnit 7.

Begrebet "støjsvagt køretøj" blev indført i en forord-
ning i 1984 [20]. Støjsvage tunge køretøjer skal over-



holde støjgrænserne i Tabel 3. Der arbejdes på at fastlægge kriterier og grænser for personbiler, busser og motorcykler.

Virksomheden
af skærpede
grænser

Det er svært at vurdere virkningen af en skarpelse af støjgrænserne, fordi kendskabet til støjudsendelsen fra dagens bilpark er begrænset, og fordi det er vanskeligt at vurdere støjudsendelsen fra den fremtidige bilpark.

Skal en formindskelse på 5 dB af det samlede støjniveau L_{Aeq} af trafikstøj opnås inden år 2000, skal den til-ladte støjudsendelse fra tunge køretøjer meget snart nedsættes med 10 dB, og støjudsendelsen fra personbiler skal tilsvarende nedsættes med 2 å 3 dB.

Virksomheden på L_{Aeq} af den samlede trafikstøj er dog ret svær at vurdere. Der indgår mange parametre, for eksempel

- hvor meget støjgrænserne skærpes,
- det tempo, hvormed indførelsen af støjsvage køretøjer sker,
- sammensætningen af trafikken (% tunge)
- trafikens fart (motorstøj/rulningsstøj)
- kørselsmønstret (acceleration/jævn fart)
- kontrol med ibrugværende køretøjer.

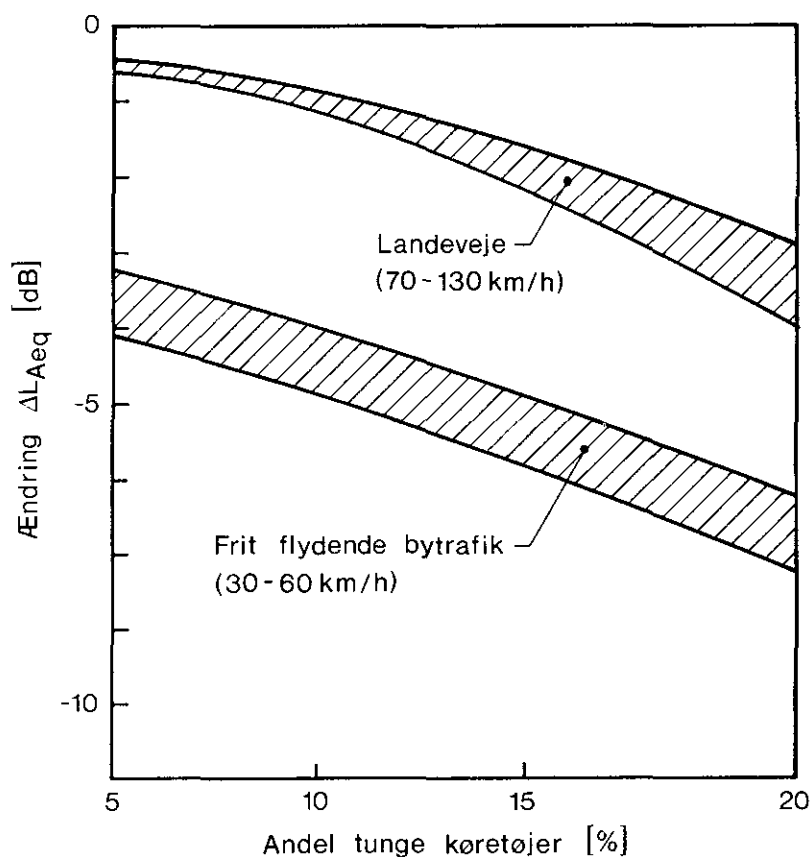
Sammenhængen mellem støjudsendelsen fra lette køretøjer i bytrafik og støjudsendelsen målt efter ISO 362.2 er som allerede nævnt mindre entydig end for tunge køretøjer.

Ved veje med hurtigtkørende trafik ændrer skærpede støjgrænser mindre på støjen end ved bygader, fordi rulningsstøjen er dominerende ved større fart end ca. 50 km/h for personbiler og ca. 80 km/h for tunge køretøjer, afhængigt af vejbelægning mv.

Figur 1 viser et skøn over virkningen af at udskifte alle køretøjer, så tunge køretøjer overholder en 8 dB



skærpet støjgrænse, og personbiler overholder en 5 dB skærpet støjgrænse. Rulningsstøjen er forudsat uændret svarende til rulningsstøjen ved en normal tæt asfaltbetonbelægning [23].



Figur 1 Ændringen af den totale trafikstøj (LA_{eq}) ved udskiftning af alle nuværende køretøjer, efter [23].

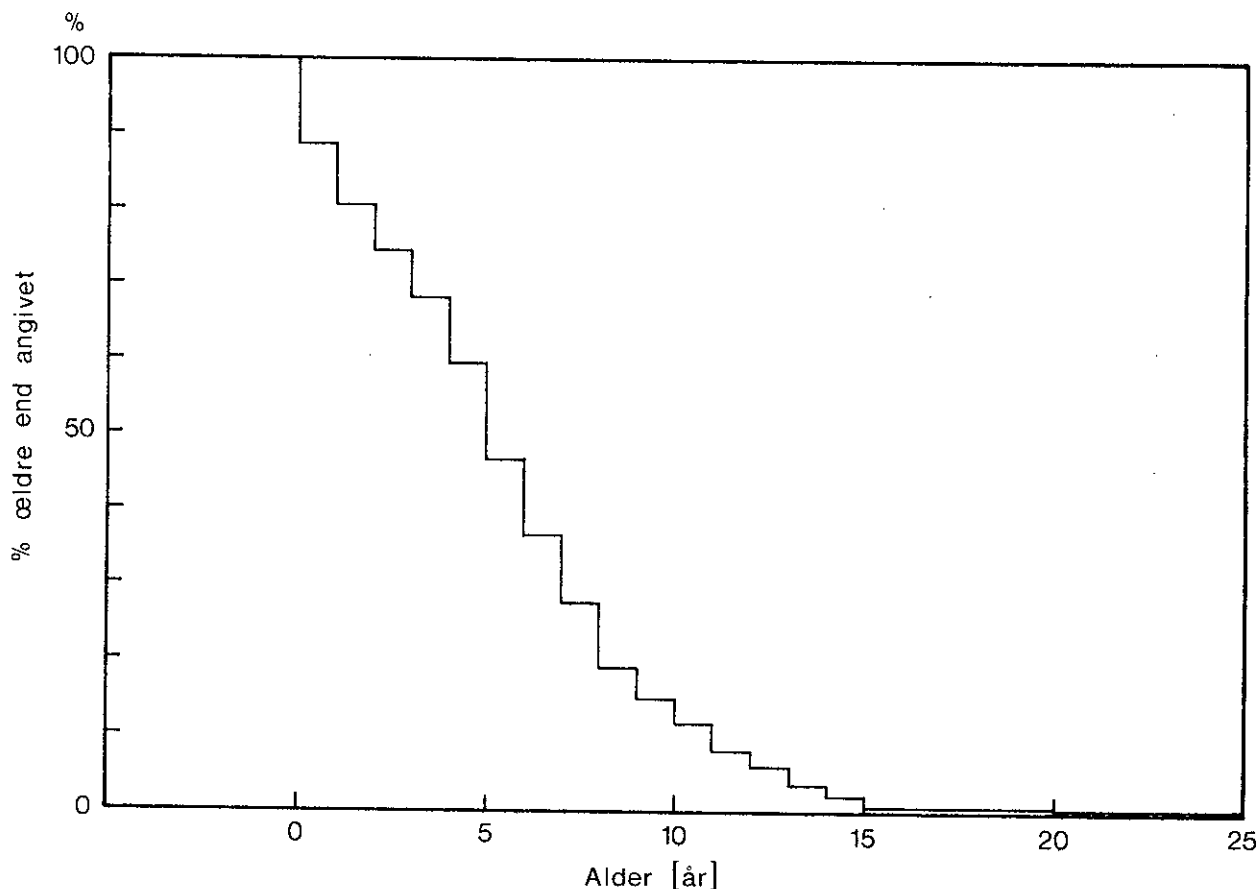
Langsom
udskiftning

Den fulde virkning af skærpede støjgrænser opnås først, når hele vognparken er udskiftet.

For at få en virkeligt mærkbar virkning af skærpede støjgrænser, skal mere end 90% af køretøjerne udskiftes [14]. Virkningen vil være næsten betydningsløs, førend mindst 50% af de tunge køretøjer er udskiftet til støjsvage [24]. Figur 2 viser aldersfordelingen af danske tunge køretøjer ved udgangen af 1984. Halvdelen var



mindre end 5-6 år gamle, mens enkelte var mere end 30 år gamle. Køretøjernes levetid vil alt andet lige forlænges, hvis prisen forhøjes. Med udskiftningstempoet i årene før 1984 vil det tage 6 år, førend en virkning kan begynde at mærkes, og en virkeligt mærkbar virkning kommer efter mere end 10 år. Skarpelsen af støjgrænserne bør derfor ske snarest muligt.



Figur 2 Danske lastbilers alder pr. 1984-12-31 (totalvægt over 3 t), efter [25].

Hjælpe- udstyr

Mange tunge køretøjer er forsynet med hjælpeaggregater af forskellig slags. Støjen fra dette udstyr kan være til væsentlig gene - ud over genen fra støjen fra selve kørslen - især når udstyret bruges om natten eller tidligt om morgenen.



I byområder giver renovationsvogne ofte anledning til støjgener ligesom for eksempel specialbiler - udstyret med kompressor - til levering af mel til bagerier, ofte giver alvorlige støjproblemer for bageriernes naboer.

Ved virksomheder skaber korntransportører monteret på lastbiler uforholdsmæssigt meget større støjproblemer end faste installationer med samme kapacitet. Også kølekompressorer på lastbiler skaber støjgener.

Nogle typer af hjælpestyr drives af selve lastbilmotoren, som kører med højt omdrejningstal og derfor støjer meget. Hvis motoren indkapsles, udstødsdæmperen forbedres etc. afhjælpes problemerne delvis, men i mange tilfælde vil det formentlig være lettere at drive hjælpestyret ved en separat, støjdæmpet motor.

Problemerne med støj fra hjælpestyr kan løses rent teknisk med traditionelle midler. Indførelsen af specielt begunstigede støjsvage køretøjer, som omtalt i afsnit 7 og i forbindelse med Tabel 3, er formentlig den mest effektive administrative indgrebsmulighed.

Forureningsrådet udsendte i 1972 en rapport om støj fra renovationsbiler [26]. Rapporten indeholdt bl.a. forslag om støjgrænse på 80 dB ved ISO-accelerationstest og en grænse på 65 dB i 7 m afstand ved komprimering af affaldet.

I Vesttyskland er gennemført forsøg med udvikling og afprøvning af renovationsvogne, især for at fjerne slaglyde ved affaldshåndteringen. Reduktioner på op til 20 dB (impuls) og op til 10 dB af energimiddelværdien (L_{Aeq}) af det A-vægtede lydtrykniveau er opnået. L_{Aeq} i 7 m afstand for en arbejdsacyklus er p.t. 75 dB [27]. Der arbejdes videre på at bruge specielt støjsvage lastbiler, hvorved støjen formentlig kan formindskes med ca. 10 dB.



5.2 Kontrol af støjgrænser

Kontrollen af, at ibrugværende køretøjer overholder støjgrænserne, foretages af Statens Bilinspektion og af politiet. Statens Bilinspektion kontrollerer i begrænset omfang støjen, når bilerne kommer til syn. Politiet kan ved landevejssyn efter færdselslovens § 77 kræve et køretøjs støjudsendelse målt.

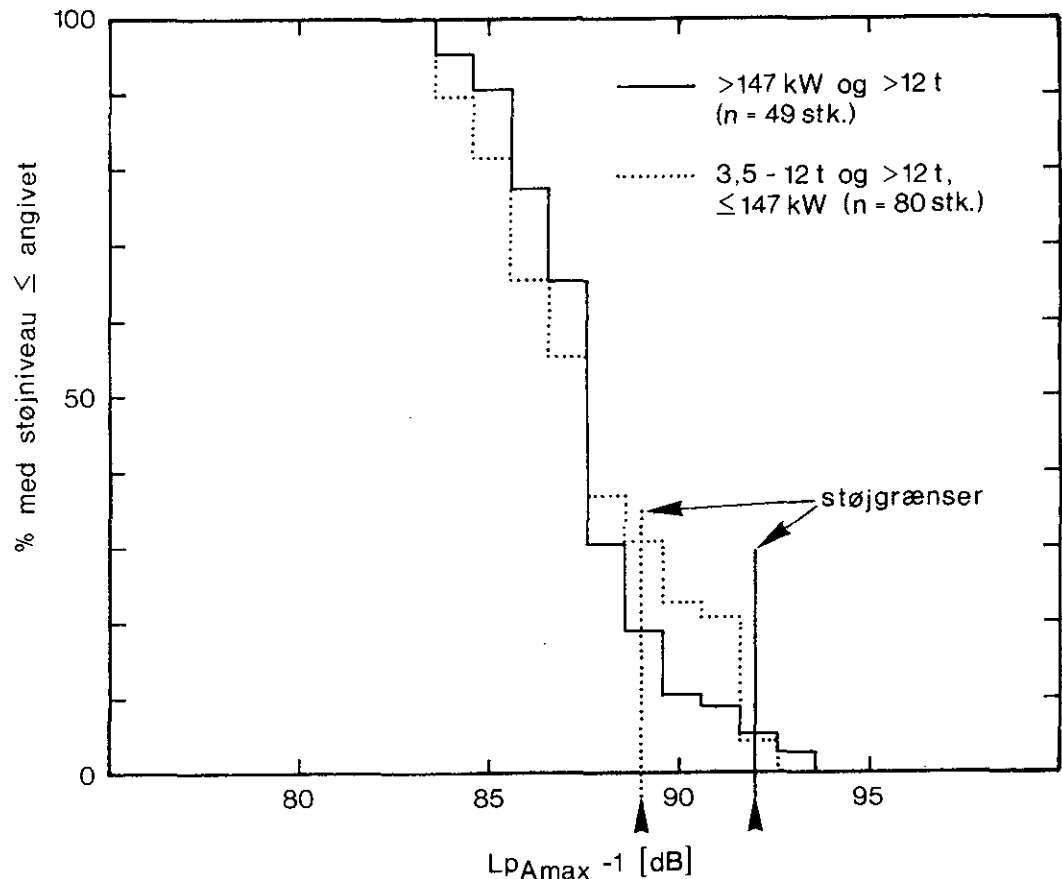
Ved kontrolmålingen - med stillestående køretøj - må støjniveauet ikke overskride støjniveauet målt ved godkendelsen med mere end 3 dB.

Skærpet kontrol

I [3] blev det skønnet, at informationsvirksomhed kombineret med en skærpet indsats fra politiets og Bilinspektionens side ved kontrol af ibrugtagne køretøjers støjniveau ville have en generel præventiv virkning og derved medvirke til at nedbringe vejtrafikstøjen. Det blev derfor foreslået, at Statens Bilinspektion ved syn af ibrugværende køretøjer skærper kontrollen af støjen, og at politiet øger kontrollen af støjen ved landevejssyn efter færdselslovens § 77.

Der er, så vidt det vides, ikke sket nogen ændring af praksis siden 1980. En skærpet støjkontrol i forbindelse med landevejssyn vil kræve, at det lokale politi forsynes med støjmåleudstyr og uddannes i brugen heraf.

I Figur 3 er vist fordelingen af resultaterne fra [28] af måling af støjen fra ibrugværende tunge køretøjer efter ISO R362. I overensstemmelse med [29] er angivet den målte værdi af $L_{pAmax} \div 1$ dB. På figuren er også angivet de dengang gældende støjgrænser for henholdsvis store og mellemstore lastbiler.



Figur 3 Fordeling af måleresultater for ibrugvarende lastbiler, efter [28], og davarende støjgrænser for nye køretøjer [29].

Figuren viser, at ca. 30% af de mellemstore og 5% af de store støjede op til 3 dB mere end svarende til de dengang gældende grænseværdier. Figuren viser også, at ingen af lastbilerne ville kunne overholde en støjgrænse på 80 dB efter ISO 362.2.

Målemetode

Kontrolmålinger udføres lettest ved stillestående køretøjer. Nærmålinger er velegnede til hurtig vurdering af, hvilke delstøjklender der bidrager mest til den samlede støj fra et køretøj. Hvis resultaterne bruges til vurdering af den samlede støj, får man en tendens til overvurdering, fordi man let måler bidrag fra flere delkilder samtidigt [30].



Ved kontrolmålinger efter ISO 5130 er det først og fremmest udstødsstøjen (og motorstøjen, efter Appendix til ISO 5130), man kontrollerer.

Resultater af målinger i større afstand, for eksempel 7 m som i ISO R362, er betydeligt bedre som grundlag for at vurdere den samlede støj fra køretøjet, men den større afstand stiller store krav til målestedet.

Virksomheden
af kontrol

I en norsk undersøgelse [31] og [32] blev der - i forbindelse med Biltilsynets vægtskontrol - målt støj efter bl.a. ISO 5130 fra i alt 208 ibrugværende tunge køretøjer. Ca. 6% af bilerne havde åbenbare mangler ved udstødssystemet: 3,5% manglede helt lydpotte, og 2,5% havde et slidt system. Ca. 4% af køretøjerne gav utypisk høje støjniveauer, selv om der ikke var påviselige mangler ved udstødssystemet.

Ved landevejskontrol kan man på dette grundlag forvente at støde på ca. 10% overskridelser af "rimelige" støjniveauer (ca. 100 dB) ved udstødssystemet. I det norske materiale var middelværdien for de 10% 8 dB højere end gennemsnittet. Hvis de 10% pålægges at nedbringe udstødsstøjen, opnås en formindskelse af deres støjudsenselse i trafikken. Det er uklart, hvor meget virkningen bliver, bl.a. på grund af den ringe sammenhæng mellem resultater af målinger efter ISO 5130, ISO 362 og i almindelig bytrafik (f.eks. ISO/DIS 7188). En indikation på 6-9 dB angives i [31] på grundlag af eksperimenter udført med udstødssystemet på to lastbiler. I nogle tilfælde vil formindskelsen af L_{pAmax} være på op til 10-12 dB.

Virksomheden af en skarpelse af kontrollen med ibrugværende køretøjer på det totale støjniveau (L_{Aeq}) fra trafikken vil være ret lille, men under nogle omstændigheder dog op til ca. 2,5 dB afhængigt af andelen af tung trafik mv. [31]. Virkningen på de højest forekom-



mende støjniveauer vil være væsentlig, og den skærpede kontrol må derfor anses for at være et væsentligt virkemiddel i arbejdet med at formindske generne af støjen fra tung trafik. Kontrollen virker rimeligt nem at gennemføre i praksis. Forslaget fra 1980 bør derfor realiseres snarest muligt.

5.3 Vejbelægning og bildæk

Vejbelægning Et litteraturstudium [33] gennemført i 1985 for Miljøstyrelsen og Vejdatalaboratoriet konkluderede bl.a. følgende:

"Støjen fra kontakten mellem dæk og vejbelægning bliver af stadig større betydning for den samlede trafikstøj i takt med udviklingen af støjsvage bilmotorer.

Støjsvag vejbelægning På større veje er farten 70 km/h eller mere. Ved disse veje kan drænasfalt i stedet for normal asfaltbeton give 3-5 dB lavere støjniveauer. Videreudvikling af en elastisk type drænasfalt kan måske give 8 dB støjreduktion i forhold til normal asfaltbeton. Dette er et virkeligt alternativ og supplement til jordvolde og støjskærme.

Vejbelægningen betyder mere for støjniveauet i byer, hvor farten er lav, end man har troet tidligere. Porøs asfalt virker lydabsorberende, hvorfor også motorstøjen dæmpes.

Før de store muligheder for støjreduktion kan udnyttes i større skala, må porøse belægnings afprøves i praksis."

Siden afleveringen af [33] er bl.a. kommet en ny norsk rapport [34] med resultater af målinger ved belægnings af drænasfalt. Ved nyudlagt drænasfalt (HABDF 16) blev målt ca. 4 dB lavere L_{Aeq} fra blandet vejtrafik end ved



asfaltbeton (AB 16 t). Dette resultat er citeret i [33]. Ved måling efter ca. 1½ år var forskellen kun ca. 1 dB. Som forklaring nævnes, at drånasfaltens porer sandsynligvis er stoppet på grund af komprimering og slitagepartikler. Brugen af pigdæk om vinteren (to sæsoner) kan have fremskyndet denne udvikling. I Danmark er brugen af pigdæk mindre udbredt end i Norge, og tilstopningen af belægningens porer må forventes at ske langsommere i Danmark.

Der er rapporteret resultater af en hollandsk undersøgelse af elastisk drånasfalt, poro-elastisk asfaltbeton [35-36]. Ved tilsætning af fintmalet gummi fra gamle bildæk til asfaltbetonens bitumen kunne opnås en stor hulrumsprocent i belægningen. Støjreduktionen blev målt til ca. 3,5 dB, L_{Aeq} , ved et 4 cm slidlag i forhold til støjen ved en normal, tæt asfaltbeton. Den ovenfor nævnte mulige støjreduktion på 8 dB blev altså ikke nået i denne undersøgelse. Yderligere udviklingsarbejde er nødvendigt.

Bildæk

Det vil kræve et omfattende nyudviklingsarbejde at forbedre de nyeste typer personbildæk væsentligt støjmessigt. Derimod er der mulighed for at formindske støjen fra kontakten dæk/vejbælgning for nogle typer af tunge køretøjer [14]: Ved regummiering af dæk bør grove slidbanemønstre (ældre typer) undgås. For byggepladskøretøjer for eksempel er kraftige, tværgående dækmønstre ("traktortype") nødvendige. Dæk/vejbælgningsstøjen fra sådanne køretøjer kan måske formindskes ved at pålægge sådanne køretøjer særlige fartgrænser, afhængigt af dækmønstret.



6. PLANLÆGNING

Det hører med i denne fremstilling at nævne planlægningen som et vigtigt administrativt værktøj til at sikre, at der ikke skabes nye støjproblemer, selv om hovedvægten her er lagt på mulighederne for at gøre støjudsenselsen fra køretøjerne mindre og at begrænse støjende køretøjers adgang til støjfølsomme områder.

I denne forbindelse er den vigtigste overordnede målsætning for planlægningen at nedbringe vejtrafikkens omfang. Dette er især betydningsfuldt efter at trafikken, som i 1970'erne stagnerede og faldt, nu i 1980'erne igen er stigende, for eksempel med ca. 5% pr. år på indfaldsvejene til København.

Antallet af arbejdspladser i de indre byområder bør formindskes. Dette kan ske ved regulering af arealanvendelse, tilladt udnyttelsesgrad mv. Den kollektive trafiks andel af den samlede trafik bør forøges. Parkeeringsrestriktioner og takstpolitikken inden for den kollektive transport er de mest nærliggende virkemidler. En anden mulighed er afkrævningen af bompenge ved bilers passage af grænsen til indre byområder. Forøgelse af cykel- og gangtrafikken bør også tilstræbes.

Der findes de nødvendige vejledninger, for eksempel [37] og [38]. Det, som nok mangler mest, er politisk vilje - både centralt og på kommunalt niveau - til at give miljøhensynet større vægt i afvejningen mellem på den ene side trafikens mulighed for at komme frem overalt til enhver tid og på den anden side støjen, luftforureningen mv. Et muligt virkemiddel på dette område er forøget information fra Miljøstyrelsen og Planstyrelsen til offentligheden, debatindlæg mv. om de tekniske muligheder og om konsekvenserne af at gøre noget for at nedbringe støjen eller at undlade at gennemføre indgreb.



7. TRAFIKALE RESTRIKTIONER

I dette afsnit omtales nogle af de muligheder, man på kommunalt niveau har for at nedbringe generne fra støj fra tunge køretøjer. De indgreb, som omtales, er ønskelige af trafiksikkerhedsmæssige og andre årsager, og de har også gunstig virkning på støjforholdene.

Hovedopgaven er at få opdelt vejene i to typer, nogle med stor og nogle med lille trafik. Adgangen for tunge køretøjer til så mange veje som muligt skal begrænses så meget som muligt i tid, for eksempel til to timer morgen og eftermiddag [14]. Vejene skal klassificeres som henholdsvis gennemfartsveje og lokale adgangsveje. Lokale adgangsveje kan ændres til blinde veje eller på anden måde nedklasseres (ved bump, indsnævringer mv.). Så få veje som muligt skal være gennemfartsveje. Derved formindskes antallet af kryds, og trafikrytmen på de større veje bliver mere jævn. Ved information om, med hvilken fart køretøjerne netop vil nå det næste stoplys i grøn-fasen, udjævnes trafikrytmen endnu mere.

7.1 Adgangsbegrænsning

Totalt
forbud

Det mest radikale indgreb er totalt at forbyde tung trafik inden for en bestemt del af for eksempel et indre byområde. I almindelighed er dette virkemiddel urealistisk.

Tidsbe-
grænset

Det er mere realistisk at indføre forbud i begrænsede tidsrum, for eksempel om aftenen og natten og acceptere den tunge trafik i dagtimerne. Dette praktiseres allerede mange steder. I Schweiz har kørsel med tunge køretøjer siden 1930'erne været totalt forbudt i tiden kl. 23-04 [39]. I hele London - bortset fra nogle få vigtige hovedveje - er der fra 1. januar 1986 forbud mod kørsel med lastbiler med tilladt totalvægt over 16,5 t



om natten (21-07) og i weekender. Der kan gives dispensation for visse køretøjer, som støjdæmpes [40-41].

Omfartsveje

Etableringen af omfartsveje uden om mindre bysamfund og aflastningsgader inden for større bysamfund kan - i hvert fald hvis de kombineres med gennemkørselsforbud for tung trafik uden ærinde i byområdet - opfattes som en form for adgangsbegrænsning. Midlet vil i mange tilfælde være særdeles effektivt til trafikal aflastning af afgrænsede områder, men også meget kostbart. I de senere år har der været forsøg i gang med miljøprioriteret gennemfart af bysamfund, hvor man ved forskellige vejtekniske foranstaltninger søger at nedbringe farten. Resultaterne af de danske forsøg forventes i 1987.

Stilleområder: Adgang for støjsvage

I takt med udviklingen af støjsvage tunge køretøjer er tanken om en "mellemløsning" opstået: I bestemte områder - "stilleområder" markeret ved skiltning - forbydes kørsel helt med tunge køretøjer, som ikke er godkendt som støjsvage.

Et eksempel på et stilleområde findes i Bad Reichenhall i Vesttyskland [42]. Siden 1954 har der i store dele af kurbyen Bad Reichenhall været totalt forbud mod kørsel med lastbiler og i andre dele forbud i tiden kl. 19-06. Der udstedes nu tilladelser til specielt støjsvage tunge køretøjer [20] til at køre i stilleområderne i hele døgnet. Transportvirksomheder tilskyndes på denne måde til at anskaffe støjsvage køretøjer til varedistribution mv., fordi de opnår større frihed ved planlægningen af kørslen. Disse køretøjer bruges også uden for stilleområderne, og derved opnås også støjmæssige forbedringer andre steder.

Der har været stor interesse i Vesttyskland for at bruge "Bad Reichenhall Modellen" også andre steder, først og fremmest naturligvis i lignende kurbyer, hvor der allerede findes restriktioner på tunge køretøjers adgang til store områder, men også fra andre byer.



Offentlige
indkøb

Indførelsen af støjsvage køretøjer kan fremmes, ved at offentlige og koncessionerede selskaber pålægges at vælge støjsvage køretøjer ved indkøb af nyt materiel. I [3] foreslog arbejdsgruppen, at Miljøstyrelsen skulle optage kontakt med Amtsrådsforeningen med henblik på udformning af en standardkontrakt for koncessionerede selskaber. Kontrakten skulle forpligte disse selskaber til at bruge støjsvage køretøjer. Såvidt det vides, er der endnu ikke opnået resultater på dette område.

Standard-
kontrakt

Hovedstadsområdets Trafikselskab stiller som tidligere nævnt strenge krav til støjudsendelsen fra busserne.

Mens modellen med stilleområder virker på både den tunge transittrafik og på varedistributionen inden for byområderne, har indførelsen af anbefalede ruter for tung trafik overvejende indflydelse på støjen fra transittrafikken.

Tvangsruter
og anbefa-
lede ruter

Et net af veje i Oslo blev anbefalet brugt af køretøjer med tilladt totalvægt over 16 t. Det blev diskuteret at påbyde dette net brugt, men i første omgang blev det besluttet at nøjes med at anbefale tung-trafik-nettet som en forsøgsordning. Der blev ikke gennemført skiltning, men informationsmateriale blev udsendt, og en annoncekampagne mv. blev gennemført.

Ved trafiktællinger før og efter indførelsen af de anbefalede ruter blev det konstateret, at den ønskede virkning udeblev. Den tunge trafik blev større på både anbefalede og ikke anbefalede veje. Det er uklart, hvad årsagen til den manglende virkning er, og hvad man eventuelt ville kunne gøre for at få nettet til at virke [43].

Foreløbig tyder det på, at man ved skiltning må forbyde tung trafik uden ærinde i et bestemt byområde at forlade et fastlagt (tvangs)rutenet, hvis man vil opnå den tilsigtede virkning.



7.2 Fartbegrænsning mv.

Bytrafik er
kompliceret

Fartens indflydelse på støjudsendelsen fra trafikken er rimeligt godt kendt, så længe det drejer sig om støjen fra frit flydende trafik. Farten indgår som beregningsparameter for eksempel i den nordiske beregningsmetode for vejtrafikstøj [44]. Forholdene i tæt bytrafik er derimod ikke afklaret. Ved udarbejdelsen af [44] forelå et empirisk materiale, som indikerede, at der var et kompliceret samspil mellem gaderummets generelle udformning på den ene side og på den anden side farten og kørselsmåden i øvrigt. Beregningsmetoden angiver derfor den samme støjudsendelse (L_{Aeq}) uanset farten, når farten er mindre end 50 km/h.

Dette emne har også været genstand for mange undersøgelser siden [44] blev udarbejdet i 1976-78. Vanskeligheden med at fastlægge samspillet mellem fart, acceleration, gearvalg etc. og deraf udlede sikre data om støjudsendelsen er endnu ikke overvundet.

Der har ikke manglet meninger. For eksempel anføres det i [45], at L_{Aeq} formindskes med 1-2 dB ved nedsættelse af farten fra 50 km/h til 40 km/h. Grundlaget er dog for spinkelt.

Store og
små gader

I det følgende omtales nogle nyere undersøgelser, hvis resultater giver nogle holdepunkter. Men det er meget vigtigt at holde øje med forudsætningerne for at undgå generaliseringer ud over gyldighedsområdet for de foreliggende data. Bl.a. må der skelnes skarpt mellem forholdene på større, traditionelle gennemgående bygader med kø-præget trafik og de specielle forhold, man kan opnå i bolig-gader ved forskellige ombygninger af hele gaderummet.

Oven i alt dette kommer så problemerne med at fastlægge, hvordan genevirkningen påvirkes af fartbegrænsninger mv. Generelt er kendskabet til virkningerne af min-



dre ændringer af trafikstøjen på graden af gene meget ringe.

Nye norske målinger

I en norsk måleserie [46] blev støjen ved ca. 3500 køretøjspassager registreret sammen med oplysninger om farten, som var fra 20 til 50 km/h. Formålet var at supplere datamaterialet bag [44] for det nævnte fartinterval.

Data blev indsamlet på i alt 7 målesteder af forskellig type. Bl.a. var der målesteder ved fartbegrænsende bumps på vejen, ved vejkryds og på stigning. Der var overalt tale om frit flydende, spredt trafik.

Både det maksimale støjniveau, L_{pAmax} , og det energiækvivalente støjniveau, $L_{Aeq,1h}$, pr. forbikørsel blev bestemt.

Strukturen i de indsamlede data er ikke ganske klar, men nogle middel-sammenhænge blev etableret. Blandt hovedresultaterne kan nævnes

- L_{pAmax} øgedes med 2-4 dB pr. tilvækst på 10 km/h i farten for lette køretøjer. For tunge var L_{pAmax} stort set uafhængigt af farten.
- L_{Aeq} for lette køretøjer øgedes med godt 1 dB pr. tilvækst på 10 km/h i farten og aftog med godt 1 dB pr. tilvækst i farten på 10 km/h for tunge køretøjer.
- L_{Aeq} var for både lette og tunge køretøjer 3-6 dB lavere i områder med "rolig" kørsel (f.eks. ved veje med bumps, jævn fart og ringe acceleration) end i områder med mere "aggressiv" kørsel (f.eks. fra kryds, med kraftig acceleration).

Virkning ved fritflydende trafik

På grundlag af de etablerede middel-sammenhænge mellem fart og L_{Aeq} blev oplysningerne i [44] om støjudsændelsen fra trafikken, de såkaldte "udgangsværdier", suppleret i fartintervallet 20-50 km/h. Efter disse supplerende oplysninger er afhængigheden af farten ubetydelig ved blandet trafik med 10% tunge køretøjer, i



overensstemmelse med [44]. Ved ekstremerne a) 100% lette køretøjer øges L_{Aeq} med 3 dB fra 20 km/h til 50 km/h, og ved b) 100% tunge køretøjer aftager L_{Aeq} med 3 dB fra 20 km/h til 50 km/h. De absolutte niveauer var lavere end i [44], ved 10% tunge køretøjer ca. 2 dB.

Køremåden
er vigtig

Der blev som nævnt konstateret stor spredning i [46] fra målested til målested på de absolutte værdier af L_{Aeq} ved en given fart, størst ved lav fart. Kørselsmåden (aggressiv / ikke aggressiv) er vigtig: højere motoromdrejningstal giver mere støj. Hvis man med andre ord ved udformningen af veje og deres omgivelser kan sikre et "ikke-aggressivt" kørselsmønster, er der mulighed for en væsentlig formindskelse af støjen.

Det er i parentes bemærket vigtigt, at denne mulige "gevinst" ikke uden nærmere overvejelse sættes over styr ved introduktion af støjfrembringende indgreb som for eksempel rumlefelter, brostensbelægninger etc.

I den tidligere nævnte rapport om et norsk litteraturstudium [45] angives det efter gennemgangen af en halv snes referencer med spredende og delvist modstridende resultater, at hvis man kan få trafikken i hovedgader til at køre med jævn fart, vil støjen reduceres hørbart i forhold til støjen ved gader med kø-præget trafik. Litteraturen giver ifølge [45] ikke grundlag for at give et tal for formindskelsen af støjniveauet. Alligevel er man i rapporten dristig nok til i sammenfatningen at skrive: "Vi finder kjøpreget trafikk til å flytte med jævn, lav hastighet, vil vi opnå en reduksjon i ekvivalentnivået på 1-4 dBA" Det er muligvis rigtigt, men altså ikke dokumenteret nogetsteds.

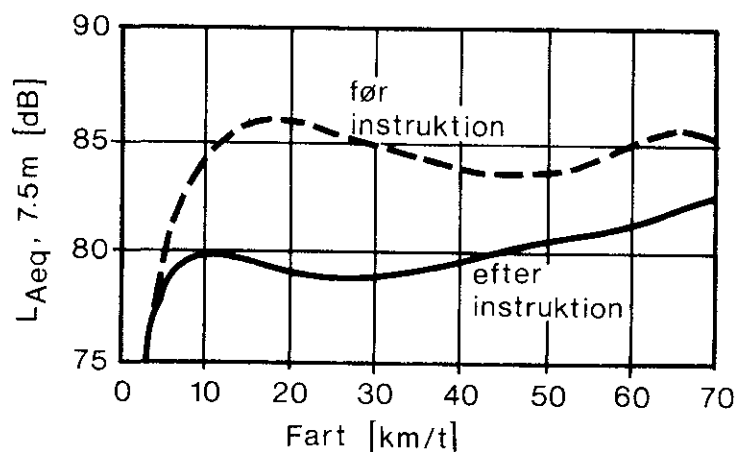
Forsøg med
kontrolleret
kørsel

Den vigtigste parameter - og altså nok den sværeste at beskrive i virkelige bysituationer - er måden, bilerne køres på. Lave motoromdrejningstal betyder lavt støjniveau - og lavt brændstofforbrug. For eksempel findes i



[12] vesttyske resultater af kontrollerede kørsler med personbiler og motorcykler i bytrafik. Støjreduktionen ved "ikke-aggressiv" i forhold til "aggressiv" kørsel var 5 dB for personbilerne, og den var 10 dB for motorcyklerne. For personbilerne blev køretiden for en 10 km lang strækning forlænget med ca. 5% ved "ikke-aggressiv" kørsel i forhold til "aggressiv" kørsel (1½ minut ud af ca. 36 min.) og brændstofbesparelsen ved "ikke-aggressiv" kørsel var 20-30%.

Støj fra tunge køretøjer er også behandlet i [12]. Figur 4, som er hentet herfra, viser støjniveauet som funktion af farten for lastbiler, ført af chauffører før og efter at disse havde fået instruktion i økonomisk kørsel på en specialskole. Økonomisk kørsel er samtidigt støjsvag, selv om dette ikke blev nævnt for chaufførerne i eksperimentet. Der er ikke i [12] redegjort nærmere for omstændighederne, antallet af lastbiler i undersøgelsen mv., men det konkluderes, at brændstofbesparelsen var 14%, og støjreduktionen i det vigtige område under 50 km/h var 5 dB.



Figur 4 Støjudsendelse (L_{Aeq} , 7,5 m afstand) fra lastbil som funktion af farten [12].



Den ønskede
fart er af-
gørende

En anden tysk undersøgelses resultater refereres i [47]. Desværre omhandler den kun støj fra personbiler. En vigtig pointe i resultaterne er, at støjudsendelsen fra et køretøj både afhænger af dets aktuelle fart og af den fart, føreren ønsker at nå op på: jo større fart (fartgrænsen, for eksempel) føreren ønsker at nå op på, jo hurtigere accelereres der, og jo større er den resulterende støjudsendelse.

Den ønskede fart afhænger både af vejen og dens omgivelser og af trafiktætheden. Virkningen af det sidstnævnte er vist i [47] ved resultater af målinger af L_{pAmax} fra forskellige tidsrum af døgnet på samme sted ved en hovedvej gennem en landsby. Den gennemsnitlige værdi af L_{pAmax} - ved samme fart - var op til 5 dB større kl. 05-07 end kl. 09-12. Bilerne køres altså på en mere støjende måde, når trafikken er spredt.

Regulering
af gader

I Berlin blev gennemført en forsøgsrække med trafikregulering (Verkehrsberuhigenden Massnahmen) [48]. På 11 bolig-gader blev gennemført mindst et af følgende indgreb:

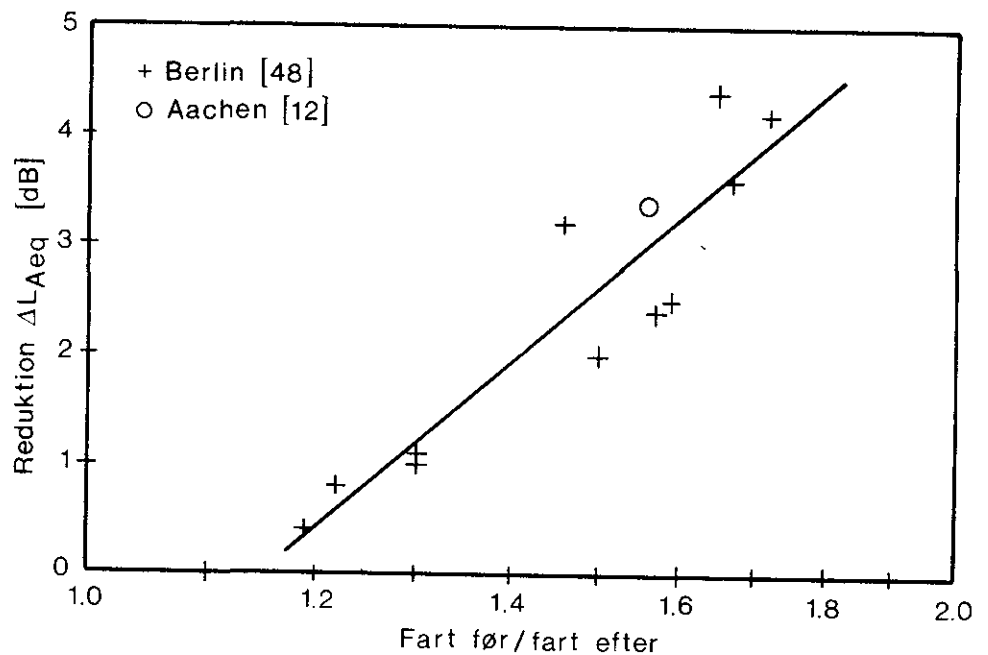
- indsnævring af kørebanen
- indførelse af sving på kørebanen
- parkeringslommer: skråt eller parallelt
- vejlukning (blind vej)
- fartgrænse: 30 km/h eller "ganghastighed"

Der blev målt støjniveauer (L_{pAmax} og L_{Aeq}) og fart samt talt trafik før og efter reguleringerne.

Efter indgrebene var trafiktætheden formindsket med en faktor 1,7 i gennemsnit svarende til 2,3 dB formindskelse af L_{Aeq} . Ved afbildning af L_{Aeq} som funktion af trafiktætheden fandt man imidlertid en reduktion fra før til efter på ca. 2,5 dB for samme trafiktæthed. Denne formindskelse stammer altså fra andre aspekter af reguleringen end fra formindskelsen af trafikmængden.



I Figur 5 er vist, hvordan ændringen ΔL_{Aeq} - som følge af trafikreguleringen - var ved forskellige gader i afhængighed af ændringen af køretøjernes gennemsnitsfart. Der er korrigeret for ændringer i trafiktætheden og andel tunge køretøjer.



Figur 5 Reduktion af L_{Aeq} som funktion af forholdet mellem gennemsnitsfarten før og efter gennemførelse af trafikreguleringen, efter [48] og [12].

Stor virkning Den konstaterede forandring er væsentligt større end fundet i undersøgelser ved andre typer af gader vedrørende ændring af farten inden for området fra ca. 25 til ca. 50 km/h. Virkningen tilskrives derfor i [48] en mere støjsvag måde at køre på i de regulerede gader end i andre gader.

Forandringen er også større end forandringen vurderet på basis af data i [46], som maksimalt ville give godt 2 dB ved 100% lette køretøjer.



Et forsøg gennemført i Aachen [12] gav resultater i overensstemmelse med resultaterne fra Berlin.

Ifølge [12] har de tyske resultater [48] og [12] kun gyldighed for gader med ringe trafik, dvs. bolig-gader, hvor chaufførernes adfærd stort set er uafhængig af de øvrige bilers adfærd i gaden.

7.3 Information

Information af offentligheden er et betydningsfuldt virkemiddel i arbejdet på at nedbringe støjen fra trafikken i almindelighed og herunder støjen fra tunge køretøjer, selv om indførelse af skærpede støjgrænser naturligvis må have den højeste prioritet.

Støjsvag er energirigtig

Som nævnt i afsnit 7.2 var der 14% brændstofbesparelse ved at køre "normalt" (dvs. tilpasse kørslen til trafikken og accelerere mindst muligt) i forhold til at køre "aggressivt". Erhvervschauffører blev på en specialscole undervist i energirigtig kørsel med tunge køretøjer. Støjudsendelsen var 5 dB lavere end ved kørsler, før chaufførerne blev undervist [12]. En rolig kørselsmåde giver også mindre luftforurening.

Samme rejsetid

De tyske forsøg viste, at gennemsnitsfarten kun øges ubetydeligt ved aggressiv kørsel.

Hvis disse resultater formidles samtidigt med, at der bevidst arbejdes med at skabe gadebilleder, der opfordrer til rolig kørsel, kan der opnås et vigtigt bidrag til at nedbringe den samlede trafikstøj. De støjmæssige virkninger af rolig kørsel er opsummeret i Tabel 4 [49].



Situation	ΔL_{Aeq} [dB]
Boliggade, fartgrænse 30 km/h, personbiler	3
Ændret chaufføradfærd, personbiler	2-5
Ændret chaufføradfærd, lastbiler	3

Tabel 4 Støjreduktion ΔL_{Aeq} ved rolig kørsel i forhold til "traditionel" kørsel (dvs. fartgrænse 50 km/h, uinstruerede chauffører) [49].

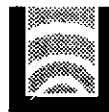
8. STØJSKÆRME OG ISOLERING

I tilfælde, hvor de indgreb, som er omtalt hidtil, ikke virker tilstrækkeligt eller tilstrækkeligt hurtigt, er det nødvendigt at supplere med afskærmning og isolering. Dette gælder især langs større veje i byområder. Dette er kort og generelt omtalt i det følgende.

Støjskærme

Afskærmning bør - af hensyn til beskyttelsen af uden-dørs opholdsarealer, altaner og boliger med åbne vinduer - forsøges etableret, før vinduesisolering overvejes. Muligheden vil dog kun være til stede i begrænset omfang.

I [3] blev det foreslået, at det offentlige planlægger og gennemfører støjafskærmning ved den del af boligmassen, som er stærkest støjbelastet, og hvor afskærmning kan gennemføres med en rimelig virkning og uden væsentlige tekniske problemer. Der var tale om afskærmning af boliger langs det overordnede vejnet med støjbelastninger på mere end $L_{Aeq,24h} = 65-70$ dBA.



Der blev i [3] ikke taget stilling til spørgsmålet om udgiftsfordelingen mellem offentlig og privat finansiering eller udgiftsfordelingen mellem staten, amterne og primærkommunerne.

Vejbestyrelserne blev udpeget til at administrere støjafskærmningen i lighed med fremgangsmåden ved det norske rigsvejnet.

Forslaget er endnu ikke realiseret. Med grundlag i de erfaringer med støtteordninger, der allerede findes fra områderne omkring lufthavnen i Kastrup, og de erfaringer, som i disse år oparbejdes i DSB's støjbeskyttelsesprojekt, vil det være nærliggende at etablere en ordning for vejene, der svarer til DSB's for jernbanerne.

Isolering

En tilsvarende konstatering kan gøres, hvad angår forslaget i [3] om en offentlig tilskudsordning til vinduesisolering, bl.a. med koordinering af energispare- og støjhensyn.

Finansieringen af støtteordningen blev foreslået at ske ved, at det offentlige refunderede en vis andel af udgifterne i støtteberettigede boliger op til et maksimumbeløb. Til både lejer- og ejerboliger blev der foreslået støtte i form af kontant tilskud.

Det bør også nævnes her, at man i Holland - ud fra princippet om, at "forureneren betaler" - pålægger bl.a. brændstof til motorkøretøjer en særlig "støjafgift", der er øremærket til støjbekæmpelse.

Uanset hvordan finansieringen sker, må det sikres - ved inddragelse af konsulenter eller på anden måde - at de udførte forbedringer udføres håndværksmæssigt forsvarligt og i overensstemmelse med fastsatte specifikationer. Som betingelse for offentlig støtte bør det bl.a. kræves, at man ved de planlagte foranstaltninger opnår



en væsentlig forbedring af lydisolationen. Som en del af det tekniske grundlag kan de generaliserede frekvensspektre, som for nyligt er publiceret i et forslag til Nordtest-metode [50] udnyttes. Luftskiftet i rummene bag de lydisolerende vinduer skal sikres på forsvarlig måde.

I den seneste udgave af Bygningsreglementet er optaget bestemmelser, der i princippet skulle sikre mod utilfredsstillende støjforhold indendørs i nyopførte boliger, som placeres, hvor der ikke er andre muligheder for støjbeskyttelse. Der er derfor ikke behov for støtte til nyopførte boliger.

9. REFERENCER

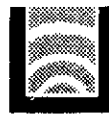
- [1] ISO 362.2: DS/ISO 362: "Akustik - Måling af støj fra accelererende køretøjer. Teknisk metode (klasse 2-metode)", januar 1984 (\equiv ISO 362, 1981) med ISO 362/DAM 1: Tillæg 1 til DS/ISO 362.
- [2] "Fordelingen af levevilkårene". Socialforskningsinstituttet, København 1978.
- [3] "Redegørelse om bekæmpelse af støj fra veje og jernbaner". Miljøstyrelsen, København, juni 1980.
- [4] "Støj fra tunge køretøjer. Rapport fra en arbejdsgruppe". Miljøstyrelsen, København 1980.
- [5] Svensk projekt, ansvarlig U. Berglund.
- [6] "Projektering af boligbebyggelse i støjbelastede byområder. Eksempelsamling". Vejdatalaboratoriet og Miljøstyrelsen, 1983.
- [7] ISO R362: "Measurement of Noise Emitted by Vehicles", 1964. DS 2070, 1966 er i overensstemmelse med ISO R362.



- [8] "Detailforskrifter for køretøjer". Justitsministeriet, Færdselssikkerhedsafdelingen, København 1986.
- [9] DS/ISO 5130: "Akustik - Måling af støj fra stillestående motorkøretøjer. Overslagsmetode (klasse 3-metode)", januar 1984 (\equiv ISO 5130, 1982).
- [10] Personlig kommunikation, Flemming Andersen, Justitsministeriet, Færdselssikkerhedsafdelingen, oktober 1986.
- [11] Kleinhoonte van Os, C.J.: "Road Traffic Noise - A Survey of Recent Research Results and their Consequences". Proceedings Inter-Noise 81, p. 561-564.
- [12] Kemper, G.D.: "Noise Emissions from Road Vehicles and Provisions for Noise Reduction". Proceedings Inter-Noise 85, Bremerhaven 1985.
- [13] Berge, T.: "Technical and economical consequences due to the introduction of stricter noise emission limits". ELAB report STF44 A83035, Trondheim 1983.
- [14] Rathe, E.J.: "Possibilities for reducing motor vehicle noise in cities". Proceedings FASE '84, p.41-46, Sandefjord 1984.
- [15] ISO/DIS 7188: "Acoustics - Measurement of Noise Emitted by Passenger Cars Under Conditions Representative of Urban Driving".
- [16] Kemper, G.: "The "Low-Noise Vehicle Program of the Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency)". Proceedings Inter-Noise 81, p.47-50, Amsterdam 1981.
- [17] Tyler, J.W.: "The UK Quiet Heavy Vehicle (QHV) 90 Programme". Proceedings Inter-Noise 85, p. 157-160, Bremerhaven 1985.
- [18] Tyler, J.W.: "The TRRL Quiet Heavy Vehicle Project". Noise Control Vibration Isolation, Oktober 1979 (her citeret fra [19]).



- [19] Andersson, K.: "Community Noise in the Nordic Countries". Proceedings FASE 84, p. 385-388, Sandefjord 1984.
- [20] Achte Verordnung zur Änderung der Strassenverkehrs-zulassungsordnung vom 16. November 1984, § 49(3) StVZO und Anlage XXI, Bundesgesetzblatt, Jg.84, Teil I, p.1371 (her citeret efter [21]).
- [21] Rodt, S.: "Acoustical Criteria for Low Noise Vehicles". Proceedings Inter-Noise 85, p.1477-1480, Bremerhaven 1985.
- [22] Kemper, G.: "Experiences with Low-Noise Vehicles with Diesel Engines". Proceedings Inter-Noise 83, p.209-212, Edinburgh, 1983.
- [23] Von Meier, A.: "Zwart en stil. Geluidabsorberende wegverharding leidend tot afvalverwerking en verkeersveiligheid", Geluid en omgeving, Aalpen aan den Rijn, 1984. Suppleret med personlig kommunikation med A. von Meier, november 1986.
- [24] Nelson, P.M., og Fanstone, J.: "Estimates of the Reduction of Traffic Noise Following the Introduction of Quieter Vehicles". Transport and Road Research Laboratory, Report No. TRRL 624, 1974.
- [25] "Vejtransporten i tal og tekst", 27. årgang, Automobilimportørernes Sammenslutning, København 1985.
- [26] "Støjproblemer i forbindelse med fjernelse af affald". Forureningsrådet - Sekretariatet, Publikation nr. 28, 1972.
- [27] Irmer, V.: "Noise Control in Refuse Disposal". Proceedings Inter-Noise 83, p.189-192, Edinburgh 1983.
- [28] Astrup, T.: "Måling af tunge køretøjers støj-emission". Lydteknisk Institut, rapport nr. 21, 1980.



- [29] "Detailforskrifter for køretøjer". Justitsministeriet, Færdselssikkerhedsafdelingen, København 1978.
- [30] Abrahamsen, K.A.: "Noise from Heavy Vehicles. Results from Stationary Noise Measurements". ELAB report STF44 A81017, Trondheim 1981.
- [31] Berge, T.: "Støykontroll av tunge kjøretøy i bruk. Måleresultater og vurderinger." ELAB rapport STF44 A84008, Trondheim 1984.
- [32] Berge, T.: "Støykontroll av tunge kjøretøy i bruk". Del 2. ELAB rapport STF44 A84061, Trondheim 1984.
- [33] Kragh, J.: "Vejbelægninger og trafikstøj. Statusrapport". Lydteknisk Institut, rapport LI 747/85, Lyngby 1985.
- [34] Storeheier, S.Å.: "Drensasfalt og trafikstøy. Måledata fra prøvestrækningen på E6 ved Såner, Akershud". ELAB rapport STF44 A86093, Trondheim 1986.
- [35] von Meier, A., og Heerkens, J.C.P.: "Een geluid-absorberende wegverharding van poro-elastisch asfaltbeton". Ministerie van VROM, Rapport nr. GB-HR-35-01, Leidschendam, januar 1986. ISBN nr. 90 346 08190.
- [36] von Meier, A.: "A poro-elastic road surface for traffic noise reduction". Proceedings Inter-Noise 85, p.287-290, Bremerhaven 1985.
- [37] "Trafikstøj i boligområder. Støjhensyn i kommune- og lokalplanlægningen og ved projektering af boligbebyggelse". Vejledning nr. 3/1984, Miljøstyrelsen 1984.
- [38] "Støjbeegrænsning i eksisterende byområder". Kommuneplanorientering nr. 6, Planstyrelsen, København 1982.
- [39] Rathe, E.J.: Personlig kommunikation, oktober 1986.



- [40] Vulkan, G.: "25 Years Noise Control in London - the GLC's Role". Proceedings Inter-Noise 85, p. 125-125, Bremerhaven 1985.
- [41] London Transport Technology Network, Newsletter No. 2, December 1985.
- [42] "Environmental Research Plan of the Federal Minister of the Interior: Noise Abatement. Major Research Topics". Umweltbundesamt, Berlin, september 1985.
- [43] Haddeland, J.O., og van Domburg, J.: "Effekten av anbefalte tungtrafikktraseer i Oslo. En før/etter-undersøkelse". Transportøkonomisk Institutt, Notat 0-1082, Oslo 1984.
- [44] "Nordisk beregningsmodell for vejtrafikkstøy". Vejdatalaboratoriet, rapport 23, 2. udgave, 1981.
- [45] Haddeland, J.O.: "Trafikkregulering og støy på hovedgater. En litteraturstudie av virkninger på målbart støyniveau og opplevd støyulempe". Transportøkonomisk Institutt, Notat nr. 0-1018, Oslo 1984.
- [46] "Vegtrafikkstøy. Lave kjørehastigheter". KILDE rapport 152, Voss, 1985.
- [47] Steven, H.: "Noise Emission of Vehicles in Urban Streets at Various Traffic Conditions". Proceedings Inter-Noise 85, p. 251-254, Bremerhaven 1985.
- [48] Giesler, H.J., og Nolle, A.: "Einfluss verkehrsberuhigender Massnahmen auf akustische Kenngrößen". Proceedings FASE 84, p.241-244 og Zeitschrift für Lärmbekämpfung (1984) 31. p. 31-35.
- [49] Solberg, S.: "Støysvak og energisparende bilkjøring i tettsteder". Samferdsel Nr. 10, p.21-23, Oslo 1984.
- [50] Jonasson, Hans.: "Bestämning av A-vägd ljudisolering hos fönster". Statens Provningsanstalt, Rapport Nr. 1985:43, Borås 1986.