



Byplan

Støj i byen, del II.

RESUMÉ:

Ved udsendelsen af SBI-byplanlægning 26 "Støj i byen, del I" i 1974 blev der bebudet en del II. Denne skulle indeholde en nærmere teknisk redegørelse for eksisterende byområders støjproblemer som uddybning og baggrundsmateriale for del I.

Materialet blev stort set udarbejdet parallelt med arbejdet med del I, men da denne skulle forceres for at danne grundlag for Rockwool's lydpriskomite's planlagte byplankonkurrence (som støjproblemerne i eksisterende byområder blev den endelige redigering af bilagsmaterialet, del II, udsendt.

Selv om materialet derfor ikke i alle henseender indeholder de nyeste resultater og erfaringer, har SBI - efter samråd med den projektansvarlige og de forskellige bidragsydere - alligevel fundet grundmaterialet så væsentligt, at man har valgt at publicere det, omend i denne mere beskedne notat-form.

December 1979.

YDERLIGERE OPLYSNINGER KAN FÅS VED HENVENDELSE TIL:

Svend Jensen Telefon: (02) 86 55 33

Eftertryk tilladt med kildeangivelsen SBI-NOTAT og nr. Ved brudstykkevis gengivelse er det dog en forudsætning, at ovenstående resumé medtages, da meninger og resultater kan forflygtiges, hvis tekst eller illustrationer tages ud af den oprindelige sammenhæng.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

31 JULI 1996

00762 P

	Side	1
INDHOLDSFORTEGNELSE		1-4
FORORD		5
1. NOGLE FYSISKE EGENSKABER VED LYD		7
1.1 Lyd er et svingningsfænomen		7
1.2 Lydfelter		9
1.3 Lydens styrke		13
1.4 Afstandsloven		14
1.5 Frekvensanalyse		14
1.6 Ørets lydopfattelse		15
1.7 Frekvensvejning		16
1.8 Lyde med varierende styrke		17
1.9 Eksempler på måleresultater		21
2. STØJS VIRKNING PÅ MENNESKER		23
2.1 Klager		24
2.2 Fysiologiske virkninger af støj		25
2.3 Støjs virkning på arbejdspræstationer		26
2.4 Støjs indvirkning på søvn		26
2.5 Støjs betydning for forståeligheden af tale		30
Maskering af tale		30
Artikulationsindeks		31
Acceptable værdier af taleinterferensniveauet for støj		34
Grænser for anvendelse af taleinterferensniveauet		35
Sammenhæng mellem taleinterferensniveau og lydniveau i dB(A) for vejtrafikstøj		37
Sammenhæng mellem artikulationsindeks og lydniveau i dB(A) for vejtrafikstøj		41
Sammenligning af krav til lydniveauet af vejtrafikstøj baseret på henholdsvis taleinterferensniveau og artikulationsindeks		42
Fluktuationer		42
Nogle andre publikationers angivelse af metoder til fastsættelse af lydniveauer, der giver en acceptabel forståelighed af tale		44
Konklusion		45
2.6 Oplevet gene som følge af støjpåvirkning		47
Mål for støjpåvirkning		49
Nogle parametre, som er bestemmende for den oplevede grad af gene		49
Konstruktion af mål for oplevet grad af gene		52
Sammenhæng mellem oplevet grad af gene og støjpåvirkning		57

		3
	Skærmvirkning ved lydudbredelse over terræn	121
	Skærmvirkning for en række ukorrelerede punktkilder	124
	Delvis skærmning	126
	Skærme med endelig tykkelse	129
	Forsænkede veje - refleksion fra bygninger og lignende	131
	Veje - hævet i forhold til det omliggende terræn	133
	Nødvendig vægt og længde af en skærm	133
	Indflydelse fra meteorologiske forhold	133
4.7	Lydudbredelse i åben bebyggelse	134
4.8	Lydtransmission gennem facader	144
	Reduktionstal - generelt	145
	Reduktionstal i laboratoriet og i felten	146
	Reduktionstallets frekvensafhængighed og lydniveaudifferens i dB(A)	156
	Beregning af forskellen mellem lydniveauet udendørs og indendørs	164
	Sammenfatning	176
4.9	Nogle beregningsregler	177
5.	STØJREGISTRERING	191
5.1	Om anvendelse af målinger og oversigtlige vurderinger	191
5.2	Eksempel på metode til oversigtlig vurdering af et områdes støjproblemer	191
6.	STØJBEGRÆNSNING - TRAFIKALE INDGREB OG DERES STØJMÆSSIGE EFFEKT	195
6.1	Indgreb over for trafikens omfang	195
6.2	Indgreb over for trafikens hastighed	198
6.3	Indgreb over for trafikens sammensætning	200
6.4	Indgreb over for trafikens fordeling over døgnet	201
6.5	Indgreb over for trafikafviklingsrytmen	204
7.	STØJBEGRÆNSNING - BYPLANMÆSSIGE INDGREB OG DERES STØJMÆSSIGE EFFEKT	207
7.1	Overgang til mindre støjforvoldende trafikmidler	207
7.2	Reduktion af trafikbehovet	209
7.3	Spredning af trafikken	210
7.4	Koncentration af trafikken	211
7.5	Afskærmning af bebyggelsen	212

FORORD

Ved udsendelsen af "Støj i byen, del I" i 1974 blev der bebudet en del II. Denne skulle indeholde en nærmere teknisk redegørelse for eksisterende byområders støjproblemer som uddybning og baggrundsmateriale for del I.

Materialet blev stort set udarbejdet parallelt med arbejdet med del I, men da denne skulle forceres for at danne grundlag for Rockwool's lydpriskomite's planlagte byplankonkurrence som støjproblemerne i eksisterende byområder blev den endelige redigering af bilagsmaterialet, del II, udsendt. Da den projektansvarlige, civilingeniør Henrik Hvidtfeldt blev engageret i andre presserende opgaver for senere at overgå til anden ansættelse, skete der en yderligere forsinkelse.

Selv om materialet derfor ikke i alle henseender indeholder de nyeste resultater og erfaringer, har SBI - efter samråd med den projektansvarlige og de forskellige bidragydere - alligevel fundet grundmaterialet så væsentligt, at man har valgt at publicere det, omend i denne mere beskedne notat-form. Som vejledning for læsere og brugere af materialet skal gøres opmærksom på, at der siden udarbejdelse af det foreliggende materiale er udsendt følgende publikationer, som dels har relation til notatets indhold, dels peger mod fremtidige beregningsregler for vejtrafikstøj og facadeisoleringsring:

Beregningsmodel for vejtrafikstøj, Rapport 23, Vejdatalaboratoriet, København 1978. Ifølge Miljøstyrelsens vejledning: "Miljøhensyn ved planlægning" skal beregninger af vejtrafikstøj foretages efter de i publikationen angivne retningslinjer.

Retningslinjer for bygningsbestemmelser vedrørende lydforhold (afsnit 3.1.1.6 om facaders lydisolering), NKB-rapport nr. 32. København 1978.

Klimaskærmens lydforhold, SBI-notat 81, København 1978.

NKB-rapporten indeholder det fælles nordiske forslag for facadeisoleringsring, og notatet indeholder en del af underlaget for forslaget.

Mens civilingeniør Henrik Hvidtfeldt, som nævnt, har været hovedansvarlig for projektet, er notatet udarbejdet af civilingeniør Jørgen Kragh, Lydteknisk Laboratorium, ATV, civilingeniør, lic. techn. Tage V. Andersen og overingeniør Bent Voss, begge Miljøstyrelsen.

Den afsluttende redaktion er i SBI foretaget af Byggeriets Akustiske Målestation og byplanafdelingen i fællesskab.

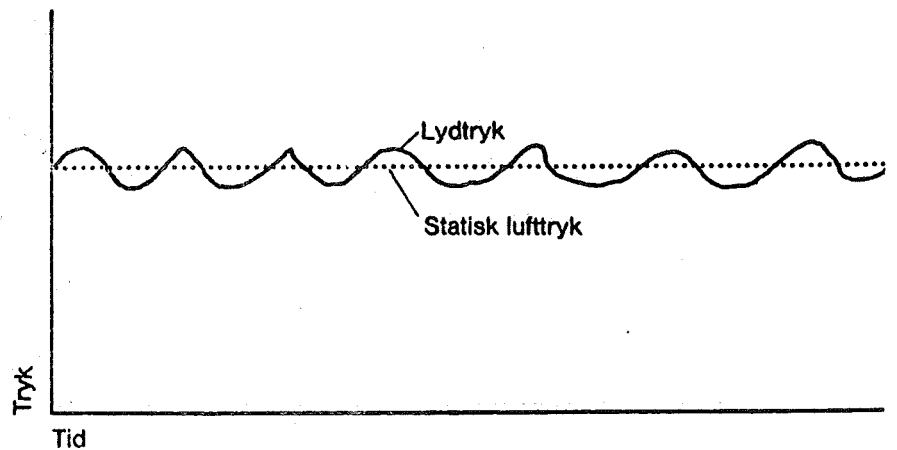
1. NOGLE FYSISKE EGENSKABER VED LYD

Jørgen Kragh

1.1 Lyd er et svingningsfænomen

Lyd har oprindeligt været defineret som alt, hvad man kunne høre, dvs. svingning i luft inden for det frekvensområde, som det menneskelige øre kan opfatte. Luftformige, flydende og faste stoffer kan imidlertid også transmittere lignende svingninger, som kan opleves som lyd enten ved direkte kobling til det menneskelige øre eller med luft som koblende medium.

Lyd er altså et svingningsfænomen, som fx kan anskueliggøres ved hjælp af figur 1.1, idet vi begrænser os til at betragte forholdene i luft. Figuren viser lufttrykket i et givet punkt som funktion af tiden. Den trykvariation i luften, som frembringes af en lydkilde, og som er overlejret det statiske lufttryk (atmosfæretrykket), kaldes lydtrykket. Lydtrykket måles i enheden pascal, Pa. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$, hvor N er enheden newton, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$.



Figur 1.1 Lydtrykket er små trykvariationer omkring det statiske lufttryk.

For at man kan tale om lyd, må trykvariationernes størrelse og deres antal pr. tidsenhed ligge inden for visse grænser.

En vandoverflade kan måske anskueliggøre lydets udbredelse i luft. Hvis man kaster en eller anden ting ned på en rolig vandoverflade, opstår der ringe, som udbreder sig på vandet omkring nedslagsstedet. Tilsvarende udbreder

Lydens udbredelseshastighed, c , varierer med tryk og temperatur. Hastigheden angives i meter pr. sekund. For en normal atmosfære er $c = 331,7 + 0,607 \cdot t$, hvori t er temperaturen i $^{\circ}\text{C}$. Ved 20°C er c altså ca. 344 m/s . Udbredelseshastigheden må ikke forveksles med partikelhastigheden i svingningen. Denne varierer for en sinustone i et givet punkt på samme måde som lydtrykket.

Bølgelængden, λ , er den længde i meter, som svingningerne udbreder sig inden for periodetiden T , dvs.

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

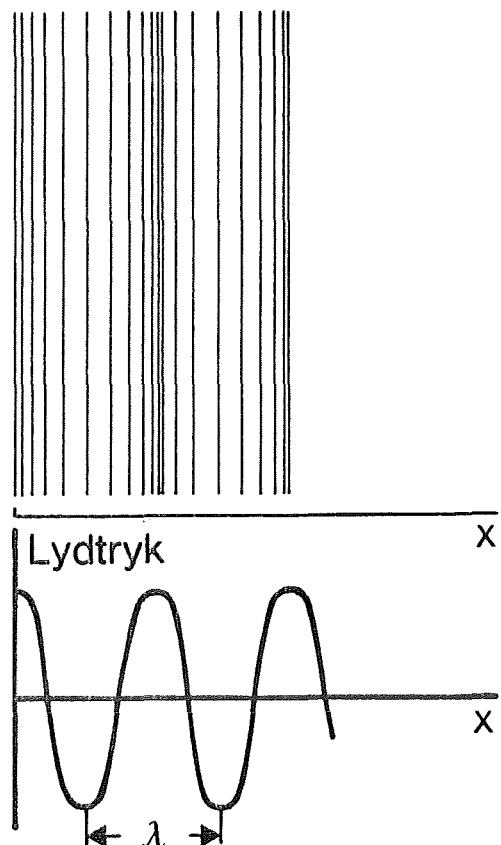
1.2 Lydfelter

Lydenegien fra en punktformet lydkilde anbragt fjernt fra andre genstande vil udbrede sig ligeligt i alle retninger. I praksis forekommer punktformede lydkilder sjældent. Lydudstrålingen varierer normalt mere eller mindre med retningen fra lydkilden. Begrebet en punktformet lydkilde er imidlertid et hensigtsmæssigt hjælpemiddel ved teoretiske betragtninger.

Den type af bølgebevægelser, som opstår omkring en punktformet lydkilde kaldes sfærisk. Overalt på en vilkårlig kugleoverflade med lydkilden som centrum har bølgebevægelsen samme lydtryk og partikelhastighed på et givet tidspunkt.

Bølgebevægelsen kan måske illustreres ved figur 1.3, som viser de skiftende fortætninger og fortyndinger af luften. Det antages, at punktkilden udsender en sinustone.

I figuren er vist lydtrykkets variation med afstanden fra lydkilden på et givet tidspunkt. I de viste maksimums- og minimumspunkter ser man lydtrykkets amplitude i forskellige afstande fra lydkilden. Det ses, at amplituden aftager med afstanden r fra punktkilden. Dette sker, fordi lydkildens lydenergi spredes under udbredelsen. Lydbølgen skabes af lydenergi, som stråles ud fra lydkilden. Lydeffekten, dvs. den lydenergi pr. tidsenhed, som afgives fra lydkilden, måles i enheden watt, W . Lydenegien fra en punktkilde udstråles som nævnt ligeligt i alle retninger. Den lydenergi, der pr. sekund udstråles gennem en arealenhed kaldes for lydintensiteten. Hvis lyd-



Figur 1.4 Lydtrykkets variation med stedet x på et givet tidspunkt i en plan lydbølge (-ren tone).

Energitransporten fra lydkilden er årsag til bølgebevægelsen. Det kan vises, at der både for en plan og en sfærisk lydbølge gælder sammenhængen:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{Z_s},$$

hvor p_{eff} er lydtrykkets effektivværdi. Størrelsen Z_s er luftens specifikke akustiske impedans. I en plan lydbølge er Z_s en konstant. I en sfærisk lydbølge er Z_s ikke konstant nær lydkilden, men i nogle bølgelængders afstand antager den den samme værdi som for den plane lydbølge: $Z_s = \rho c$, hvor ρ er luftens massefylde målt i kilogram pr. kubikmeter og c er lydhastigheden i luft.

I praksis er lydintensiteten I proportional med p_{eff}^2 . For et sfærisk lydfelt gælder det derfor, at p_{eff}^2 er proportional med $\frac{P_a}{4\pi r^2}$:

$$p_{\text{eff}}^2 = \frac{P_a \rho c}{4\pi r^2}$$

Normalt absorberes noget af den indfaldende lydenergi, hver gang en lydbølge reflekteres fra en af rummets begrænsningsflader. Hvis man afbryder lydkilden, vil lyden derfor "dø hen" i løbet af kortere eller længere tid.

En flades akustiske absorptionsevne kan karakteriseres ved dens absorptionskoefficient α , dvs. den brøkdel af den indfaldende lydenergi, som absorberes af fladen. En flade med areal S har et ækvivalent absorptionsareal $A = \alpha \cdot S$ kvadratmeter. Som karakteristisk mål for et rums akustiske egenskaber anvendes rummets efterklangstid T , hvorved forstås den tid, målt i sekunder, det varer, fra lydkilden afbrydes til lydenergitætheden i rummet er reduceret med en faktor 10^6 . Det kan vises, at det ofte med god tilnærmelse gælder, at $T = 0,16 \cdot V/A$, hvor V er det betragtede rums volumen, målt i kubikmeter.

1.3 Lydens styrke

En ren tones styrke kan fx beskrives ved lydtrykkets amplitude eller effektivværdi. De lydtrykvariationer, der er af interesse i denne forbindelse varierer fra ca. 20 μPa (det svagest hørlige lydtryk) til ca. 200 Pa (lydtrykket tæt ved en jetmotor). Da den ændring, af en påvirkning, som det menneskelige øre netop kan registrere, i store træk er proportional med den påvirkning, øret oprindeligt var udsat for, er det hensigtsmæssigt at anvende en målenehed, som angiver styrken af en lyd i forhold til en referencelyd. Anvendelsen af en sådan enhed letter også konstruktionen af måleapparatur.

Lydstyrke angives ved lydtrykniveauet, L_p , som måles i decibel, dB. L_p defineres ved

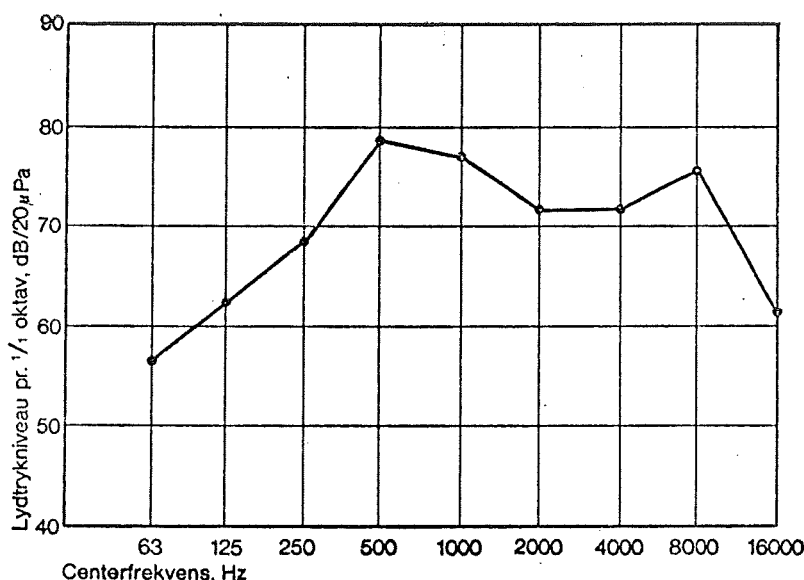
$$L_p = 10 \log \frac{p_{\text{eff}}^2}{p_{\text{oeff}}^2} \text{ dB re } p_{\text{oeff}}$$

p_{eff} er effektivværdien af lydtrykket, og p_{oeff} er et referencelydtryk, som internationalt er standardiseret til 20 μPa . Det oprindelige styrkeområde 200 Pa/20 μPa =

de af støjens frekvenssammensætning. Ved en 1/1 oktav forstås et frekvensinterval indeholdende alle frekvenser mellem en øvre grænsefrekvens, f_{ϕ} , og en nedre grænsefrekvens, f_n , og hvor forholdet $f_n/f_{\phi} = 1:2$.

Analogt defineres en 1/3 oktav sådan, at $f_n/f_{\phi} = 1:\sqrt[3]{2}$. Filtrene karakteriseres ved deres centerfrekvens, f_c , defineret som $f_c = \sqrt{f_{\phi} \cdot f_n}$. Disse centerfrekvenser er internationalt standardiseret.

Et eksempel på et resultat af en 1/1 oktavanalyse af støjen i et maskinværksted er vist i figur 1.6, hvoraf de standardiserede 1/1 oktav centerfrekvenser også fremgår.



Figur 1.6 Frekvensspektrum, lydtrykniveau pr. 1/1 oktav for støjen i et maskinværksted.

1.6 Ørets lydopfattelse

Ved omfattende undersøgelser af hørelsen hos et stort antal personer har man klarlagt, hvordan det normale menneskelige øres følsomhed varierer med frekvensen.

Normalt er kun toner i frekvensområdet fra 20 Hz til 20.000 Hz (20kHz) hørlige. Disse grænser varierer fra person til person, og specielt er den øvre grænse afhængig af personens alder og af den støjpåvirkning, øret har været udsat for.

Ørets følsomhed er størst for frekvenser i området omkring 3-4 kHz. Følsomheden varierer mere med frekvensen

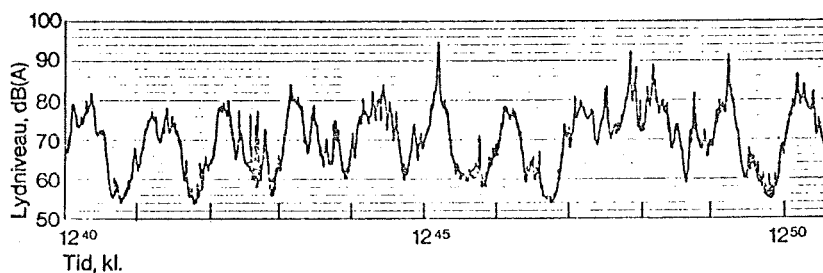
Til at karakterisere støjen fra fly anvendes ofte en mere avanceret målestørrelse, som kaldes Perceived Noise Level. Bestemmelsen af denne størrelse kræver, at man udfører 1/3 oktav frekvensanalyse af støjen og derefter foretager en beregning af niveauet i PNdB. En beskrivelse af metoden findes i ISO Rekommendation R 507. Bestemmelsen kan eventuelt udføres ved hjælp af specielt måleapparat indeholdende en minicomputer. Da et sådant apparat er ret kostbart og kompliceret, anvender man ofte som tilnærmelse til PNdB-værdien lydniveauet i dB(D) + 7 dB.

1.8 Lyde med varierende styrke

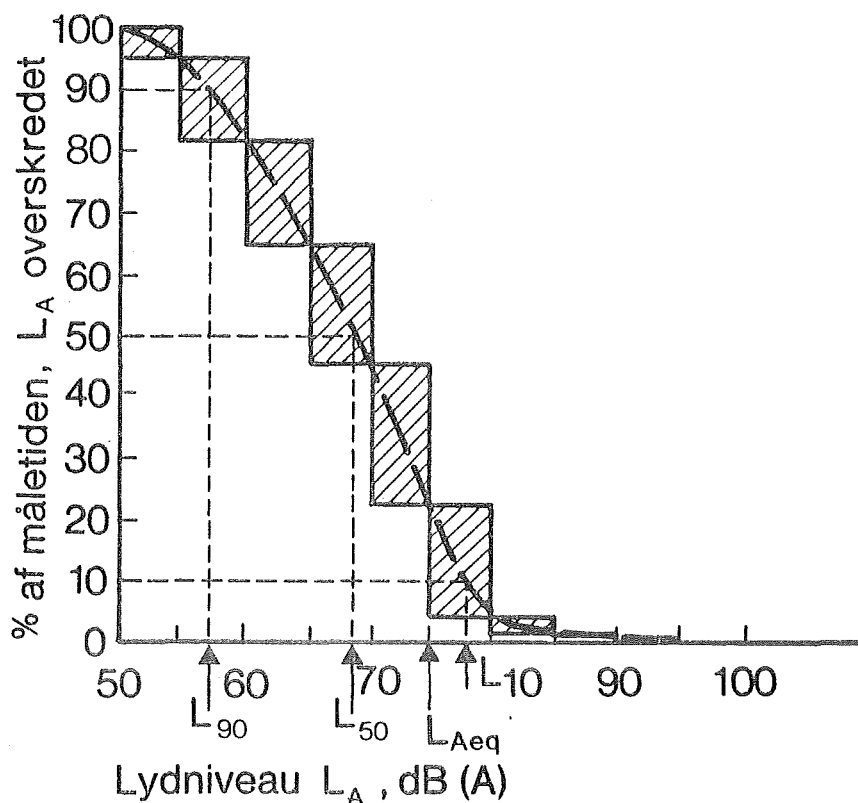
Støjen fra en lang række støjklender har hverken konstant styrke eller konstant frekvenssammensætning. De tidligere omtalte styrkemål er i sådanne tilfælde kun repræsentative for støjen i et bestemt øjeblik.

Hvis man ønsker at foretage frekvensanalyse af et støjsignal, må man derfor udvælge et karakteristisk udsnit af signalet til analyse, og man må beskrive, under hvilke omstændigheder støjen er registreret, for at kunne opnå reproducerbare resultater. Som regel foretages frekvensanalyser på grundlag af båndoptagelser.

Lydniveauet, som i et enkelt tal angiver en lyds styrke, kan anvendes til at beskrive en støjs variation med tiden. En sådan beskrivelse sker normalt ved hjælp af en niveauskriver. På en kalibreret papirstrimmel kan man få nedskrevet fx lydniveauet i dB(A) som funktion af tiden. Et eksempel på en sådan niveauskriverregistrering er vist i figur 1.8. Registreringen er foretaget en hverdag ved middagstid på en gade, hvor trafikken er reguleret af trafiklys med en omløbstid på 60 sekunder.



Figur 1.8 Eksempel på niveauskriverregistrering: Lydniveauet i dB(A) som funktion af tiden registreret på en gade, hvor trafikken er reguleret af lyssignaler med en omløbstid på 60 sekunder.



Figur 1.10 Den kumulative fordeling af lydniveauet inden for måletiden.

kendes i princippet ikke, fordi man kun har registreret i hvor lang tid, lydniveauet var mellem niveaunklassernes grænser. Kurven må forløbe inden for de viste skraverede arealer. Med en støjtpe som den, der her er tale om, må det være rimeligt at foretage en interpolation som illustreret ved den punkterede kurve.

Den kumulative sandsynlighedsfordelingskurve angiver, i hvor stor en brøkdelen af måletiden, lydniveauet overskred et vilkårligt valgt lydniveau.

Af en sådan sandsynlighedskurve vælger man i praksis ofte visse karakteristiske punkter til at karakterisere støjten. Det er klart, at man ved en sådan fremgangsmåde mister noget af den information, som er indeholdt i kurven.

Til at beskrive vejtrafikstøj vælger man som regel at angive de lydniveauer L_{10} , L_{50} og L_{90} , som blev overskredet i henholdsvis 10 %, 50 % og 90 % af måletiden. I det betragtede eksempel er L_{10} ca. 78 dB(A), L_{50} ca. 69 dB(A) og L_{90} ca. 57 dB(A).

L_{10} antages at indeholde væsentlig information om de kraftige lydniveauer, L_{50} angiver det lydniveau, som er

Beregningen af L_{Aeq} for det valgte eksempel er vist i tabel 1.1.

Niveaunklasse dB(A)	$L_{A,i}$ dB(A)	f_i %	antilog $\frac{L_{A,i}}{10}$	$\frac{f_i}{100}$ antilog $\frac{L_{A,i}}{10}$
50-55	52,5	5,5	$0,1778 \cdot 10^6$	$0,98 \cdot 10^4$
55-60	57,5	13,4	$0,5623 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^4$
60-65	62,5	17,0	$1,778 \cdot 10^6$	$30,2 \cdot 10^4$
65-70	67,5	19,0	$5,623 \cdot 10^6$	$106 \cdot 10^4$
70-75	72,5	23,1	$17,78 \cdot 10^6$	$410 \cdot 10^4$
75-80	77,5	18,0	$56,23 \cdot 10^6$	$1010 \cdot 10^4$
80-85	82,5	2,9	$177,8 \cdot 10^6$	$513 \cdot 10^4$
85-90	87,5	0,9	$562,3 \cdot 10^6$	$505 \cdot 10^4$
90-95	92,5	0,2	$1778 \cdot 10^6$	$355 \cdot 10^4$
95-100	97,5	0,0	$5623 \cdot 10^6$	0
sum				2937 $\cdot 10^4$

$$L_{Aeq} = 10 \log 2937 \cdot 10^4 = 74,6 \sim 75 \text{ dB(A)}$$

Tabel 1.1 Eksempel på beregning af det ækvivalente konstante lydniveau L_{Aeq} ud fra data i histogrammet i figur 1.9.

også nævnes, at der i handelen findes apparater (dosimetre), der foretager beregningen af L_{Aeq} elektronisk.

Energiækvivalens-princippet er i de seneste år blevet anført fra forskellig side, idet man har en begrundet formodning om, at den måde, lydniveauet varierer på, er af væsentlig betydning for den grad af gene, mennesker oplever på grund af støjen. I det såkaldte Noise Pollution Level adderes til L_{Aeq} en størrelse $2,56 \cdot \sigma$, hvor σ er spredningen på lydniveauets fordeling. Denne fremgangsmåde har træk til fælles med fremgangsmåden ved bestemmelsen af TNI. En nærmere omtale af Noise Pollution Level kan fx findes i Robinson 1969a. Et sådant mål er imidlertid meget kompliceret. Derfor er disse synspunkter endnu ikke trængt igennem i praksis, men man må nok forudse, at et mål for støjen, som tager hensyn til støjens lydenergiindhold og til støjens tidsmæssige variationer, vil blive almindeligt anvendt.

1.9 Eksempler på måleresultater

I figur 1.11 er vist eksempler på måleresultater fra

Jørgen Kragh

I dette afsnit skal gives en kort omtale af nogle aspekter af samspillet mellem støjpåvirkning og menneskers reaktion på denne støjpåvirkning. Samspillet er meget kompliceret og kan studeres på mange niveauer. Omtalen vil her hovedsagelig blive koncentreret om støj fra vejtrafik. Formålet med det følgende er at give læseren et indblik i nogle af de problemer, man står overfor, når man skal forsøge at opstille kriterier for, hvornår et miljø kan betragtes som støjmæssigt tilfredsstillende. Hovedvægten vil blive lagt på en beskrivelse af nogle af de metoder, man har anvendt i forsøget på at etablere en sammenhæng mellem menneskers bedømmelse af et miljøes støjmæssige kvalitet og et karakteristisk, fysisk mål for støjens egenskaber, og af nogle af de resultater, man har opnået.

Det ville naturligvis være ideelt, hvis man kunne fastlægge en sammenhæng mellem et sådant fysisk mål for støjens egenskaber og nogle objektive målelige virkninger på mennesker og gennem undersøgelser bestemme grænser for, hvornår disse virkninger kunne betegnes som skadelige for menneskers sundhedstilstand i videste forstand. Så langt er man imidlertid ikke kommet i undersøgelserne af disse problemer, og det er tvivlsomt, om det overhovedet er muligt at opstille kriterier baseret på sådanne metoder.

I det følgende gives først en omtale af nogle af de vanskeligheder, man støder på, hvis man vil anvende antallet af klager som grundlag for en vurdering af, hvor meget mennesker generes af støj. Derefter omtales resultater af undersøgelser af det "fysiologiske svar" fra menneskers kropsfunktioner på støjpåvirkning, af støjs indflydelse på visse støjfølsomme processer, der forekommer i menneskers dagligdag (arbejde, kommunikation, søvn) og resultater af sociologiske undersøgelser af den generelle oplevelse af støjpåvirkning i deres bolig. På basis af disse resultater søges det fastlagt, inden for hvilke grænser, støjpåvirkningen må holdes, for at visse relevante processer kan foregå på tilfredsstillende måde inden for nogle byfunktioner. Endelig søges med henblik på brug i forbindelse med planlægning - foretaget

Ud fra klagemateriale modtaget ved større flyvepladser, hvor klagerne er hyppigere og mere koncentreret, har man fundet, at de, der klager over støjen, i modsætning til de der ikke klager men føler sig lige så generet, hovedsagelig synes at repræsentere de samfundsgrupper, der traditionelt er bedre i stand til at formulere sig end gennemsnittet.

Grundet disse forhold kan man derfor ikke forvente, at de afgivne klager over støj fra veje skal give et fyldestgørende eller blot nogenlunde repræsentativt billede af hvor mange, der føler sig generet af denne støj.

Man ville muligvis kunne få et noget bedre billede heraf, såfremt man, fx i hver kommune, oprettede klagekontorer, hvis tilstedeværelse gennem oplysningsvirksomhed blev almindelig kendt i befolkningen. Dette ville dog næppe afhjælpe befolkningens følelse af magtesløshed over for problemet.

2.2 Fysiologiske virkninger af støj

De fysiologiske virkninger af støj kan opdeles i auditive virkninger, dvs. virkninger på høreorganerne, høreskader, og ikke-auditive virkninger. De auditive virkninger kendes relativt godt. De er normalt ikke aktuelle i trafikstøjsammenhæng - i hvert fald ikke så længe vi beskæftiger os med mennesker, der udsættes for en "normal" påvirkning af trafikstøj. Dertil er de almindeligt forekommende lydniveauer for lave. Derimod foreligger der naturligvis en risiko for høreskader hos personalet i visse trafikmidler og hos fx flyvepladspersonale.

De ikke-auditive virkninger består fx i forandring af åndedræt og hjerteslag, ændring af visse kredsløbsfunktioner og kirtelreaktioner. Man har også konstateret en indvirkning på pupilbevægelserne. En nærmere redegørelse for disse forhold kan fx findes i Kryter, 1970.

Undersøgelserne af disse ikke-auditive virkninger er næsten alle foretaget under laboratoriforhold. Påvirkningerne har været relativt kortvarige. Det er med den viden, der i dag står til rådighed, ikke muligt at give et endeligt svar på spørgsmålet om, i hvilken grad disse virkninger i det lange løb er skadelige. Det antages dog, at disse virkninger på langt sigt kan være skadelige for

Den anvendte støj, der stammede fra en træbearbejdsningsmaskine, var af konstant styrke. Støjens lydtrykniveau pr. 1/3-oktav var praktisk taget uafhængigt af frekvensen i området fra ca. 80 Hz til ca. 5 Hz.

På et givet tidspunkt startede båndoptageren afspilningen af støjen med en DIN-hørestyrke på 30 DIN-phon^x). Efter 3 minutters forløb øgedes DIN-hørestyrken til 35 DIN-phon og så fremdeles med spring hvert 3. minut indtil DIN-hørestyrken var 70 DIN-phon. Forsøgspersonerne var instrueret om at afbryde opstillingen, så snart de vågnede. Forsøgslederen kunne derefter senere konstatere, ved hvilket niveau, forsøgspersonen var blevet vækket. Afspilningen blev startet tidligt om morgenen (ca. 2 timer før forsøgspersonernes normale opvågningstidspunkt). På dette tidspunkt sover man erfaringsmæssigt ikke særlig fast, og mange aktiviteter (morgentrafik etc.) påbegyndes på dette tidspunkt. Forsøgspersonerne fik at vide, at de ville blive vækket af udstyret til sædvanlig tid for at undgå indflydelsen af en eventuel ubevidst forventningseffekt.

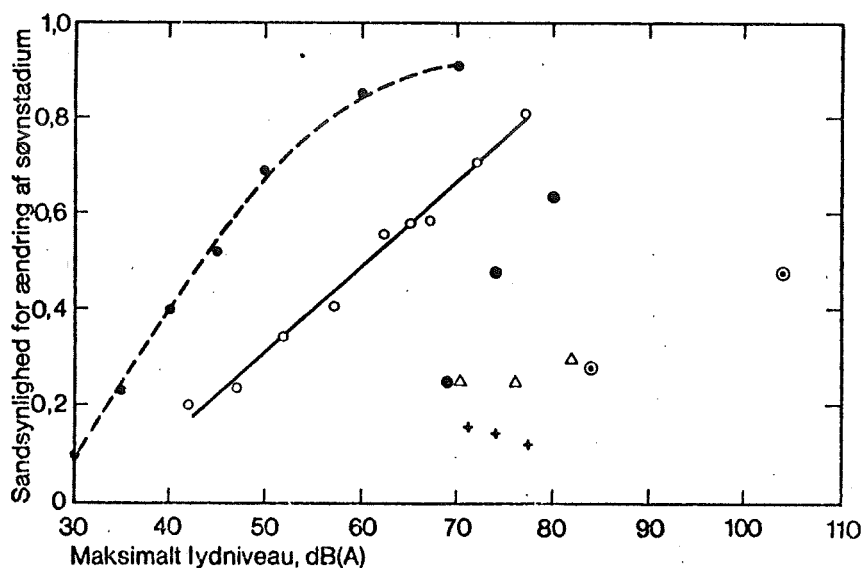
Resultaterne af disse vækningsforsøg er angivet i tabel 2.1 som den procentdel af forsøgspersonerne, der blev vækket ved støjpåvirkninger, hvis styrke var mindre end angivet i tabellens første søjle.

Støjpåvirkningens styrke DIN-phon	Antal personer vækket	% personer vækket ved mindre støjpåvirkning end anført i søjle 1
30	36	10
35	43	23
40	58	40
45	41	52
50	55	68
60	58	85
70	21	91
31 personer ikke vækket		

Tabel 2.1 Antal forsøgspersoner, som blev vækket af en støjpåvirkning som angivet i søjle 1, og den procentdel af forsøgspersonerne, der blev vækket af støjpåvirkning, hvis styrke var mindre end angivet i søjle 1. (Efter Steinicke, 1957).

^x) DIN-phon: Mål for en støjs styrke baseret på en frekvensvejning analog med den i afsnit 1.7 omtalte A-vejning. Der anvendes forskellige vejningskurver afhængig af den betragtede lyds styrke. For en nærmere omtale af begrebet DIN-hørestyrke henvises til fx DIN 5045.

Det maksimalt forekommende lydniveau af støjpåvirkningen blev varieret. Lydniveauet af støjen fra ventilationsanlægget i laboratoriet var 35 dB(A). Derfor blev maksimale lydniveauer på mindre end 40 dB(A) ikke anvendt. Senere er udført tilsvarende undersøgelser (Thiessen, 1972 b) af virkningen på forsøgspersoner, som var ældre end 55 år. Forskellen mellem reaktionerne var ikke statistisk signifikant. I figur 2.2 er fra Thiessen, 1973, angivet resultaterne for de to grupper under et - i alt 28 personer i alderen 20-65 år.



Figur 2.2 Sandsynligheden for, at en forsøgspersons søvnstadium ændres på grund af støjpåvirkning, som funktion af støjpåvirkningens styrke.

- Steinicke, 1957, konstant støj, varighed > 180 sekunder, kun vækning
- Thiessen, 1973, lastbils forbikørsel, varighed 29 sekunder, ændret søvnstadium
- + ● andre undersøgelser (efter Thiessen, 1973).
- △ ○

På figuren er plottet Steinickes data fra tabel 2.1, som jo kun omhandler egentlig vækning på grund af en påvirkning med en varighed på mere end 180 sekunder. De øvrige punkter på figur 2.2 stammer fra andre undersøgelser, hvori der blev brugt mere kortvarige påvirkninger, og hvoraf nogle registrerede egentlig vækning og nogle skift af søvnstadium. Thiessen konkluderer, 1972 b, på basis af en lignende figur, at sandsynligheden for, at forsøgspersonerne reagerer på en påvirkning af en given styrke synes at være proportional med varigheden af påvirkningen, Der

miljø, men kun oplysningsom, ved hvilke lydniveauer man overhovedet kan forstå, hvad der bliver sagt. Når det alligevel tages frem her, skyldes det et ønske om at få et grundlag for at kunne vurdere, hvilke lydniveauer af vejtrafikstøj, der må betegnes som repræsenterende et tilfredsstillende støjmæssigt miljø i byfunktioner, hvor tale skal kunne opfattes uden besvær. Det bør understreges, at der savnes resultater af direkte undersøgelser af denne problematik. I det følgende skal redegøres for mulighederne for - og måske specielt for vanskelighederne ved - at generalisere andre undersøgelsesresultater til at gælde vejtrafikstøj.

Fremgangsmåden ved undersøgelser af taleforståelighed er normalt, at man præsenterer et stort antal forsøgspersoner med normal høreelse for et talesignal, mens personerne opholder sig i et støjmiljø svarende til det, man ønsker at undersøge. Talesignalet kan være sammenhængende tale eller løsrevne en-, to- eller flerstavelsesord med eller uden mening. Taleforståeligheden, defineret som den relative hyppighed af korrekt opfattede ord, er afhængig af den type af talesignal, man har valgt. For eksempel er det af betydning, om talen består af ord, som indgår i forsøgspersonernes daglige ordforråd, eller om den består af sjældent brugte eller ukendte ord. Ofte anvender man såkaldte logatomer (logos: ord, tomos: kniv/skåret) dvs. dele af ord, ofte bestående af: konsonantlyd-vokal - konsonantlyd. Nogle testmaterialer kan være kendte stavelser. I andre materialer er logatomerne meningsløse. Sådanne logatomer kaldes ofte nonsensstavelser.

Anvender man nonsensstavelser, er der kun lille mulighed for at gætte sig til maskerede talelyde.

Fremstillingen er i det følgende hovedsagelig bygget på Kryter, 1970.

Artikulationsindeks

Det har vist sig, at tales forståelighed i et støjende miljø kan vurderes ved hjælp af det såkaldte artikulationsindeks (AI) - et indeks for et transmissionssystem's egenskaber med hensyn til taleoverførsel, beregnet ud fra transmissionssystemets fysiske data. Grundlaget for beregningen af AI er den antagelse, at det hørbare frekvensområde

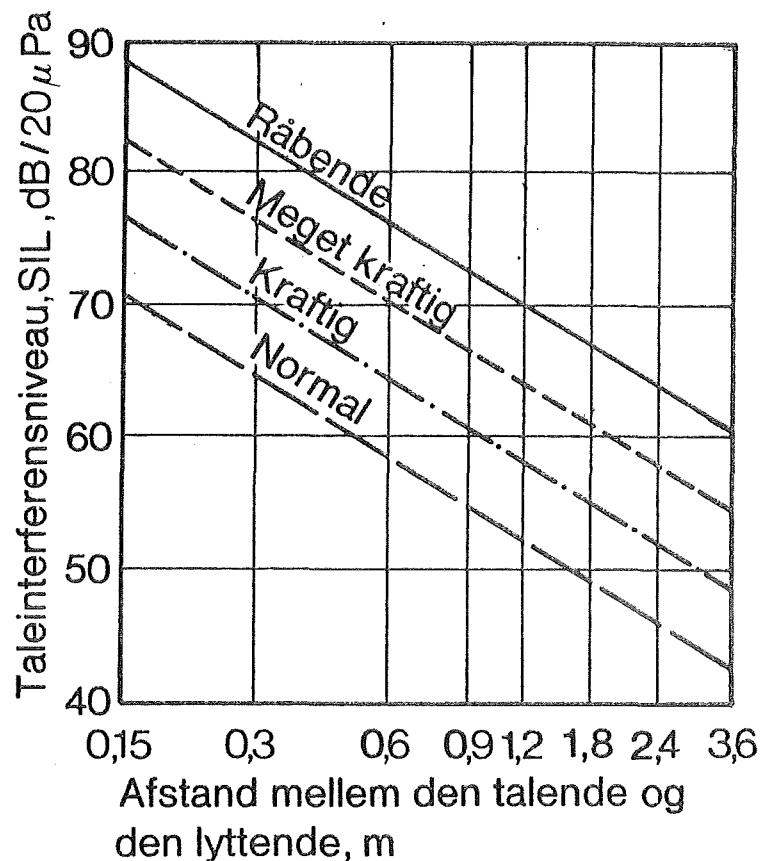
Figuren viser forståeligheden som funktion af AI for forskellige typer af ordmateriale mv. (FB-ord = fonetisk balancerede ord, dvs. enstavelsesord udvalgt, så de indeholder sprogets talelyde i ca. samme forhold som daglig tale).

Det skal i forbindelse med figuren bemærkes, at AI er konstrueret med henblik på at vurdere forskellige kommunikationssystemers effektivitet under givne betingelser. Da taleforståeligheden blandt andet afhænger af ordmaterialets art, af talerens artikulationsevne, af talens hastighed og af den lyttendes høresevne, opfattelsesevne, kombinationsevne og ordforråd, er det klart, at man ikke generelt kan angive en værdi af AI, der entydigt beskriver kommunikationsforholdene. Taleforståeligheden er fx også afhængig af, om den lyttende kan se den talendes mundbevægelser.

Ifølge Kryter, 1970, har Beranek, 1947 a, angivet, at hvis man har et AI på mindre end 0,3, vil kommunikationsforholdene være utilfredsstillende (unsatisfactory or only marginally satisfactory), AI = 0,3 - 0,5 vil i almindelighed være acceptabelt (acceptable), AI = 0,5 - 0,7 vil give gode (good) forhold, og er AI større end 0,7, vil forholdene sædvanligvis være udmærkede (very good to excellent).

Bestemmelsen af AI er ret kompliceret, og Beranek har stadig ifølge Kryter, 1970 i Beranek, 1950, foreslået en simplificeret version: Beranek gik ud fra et skønnet gennemsnit af talens lydtrykkniveauer i oktavbåndene 600-1200, 1200-2400 og 2400-4800 Hz i forskellige afstande fra en taler med forskellig stemmestyrke. Idet han forudsatte, at støjens spektrum var forholdsvis konstant og bredbåndet, beregnede han, hvilket lydtrykkniveau støjen kunne have i de nævnte oktavbånd, sådan at AI blev ca. 0,5.

Støjens gennemsnitlige lydtrykkniveau i de tre oktavbånd kaldes støjens taleinterferensniveau (Speech-Interference Level) $SIL_{600-800}$. Baggrunden for, at det er muligt at foretage en sådan simplificering er ifølge Beranek, 1954, at lydenergien i tale under ca. 200 Hz og over ca. 7000 Hz næsten ikke bidrager til taleforståeligheden. Valget af frekvensbånd er - fremgår det af Beranek, 1954 - primært bestemt af, at man skulle kunne anvende eksisterende



Figur 2.4 Taleinterferensniveau, som netop tillader en pålidelig opfattelse af ord ved kommunikation ansigt til ansigt som funktion af afstanden mellem den talende og den lyttende - parameter: stemmestyrke (vocal effort). Det er forudsat, at ingen refleksioner supplerer den direkte tale. (efter Beranek, 1947 b - citeret efter Beranek, 1954).

Grænser for anvendelse af taleinterferensniveauet

Kryter anfører (1970), at skønt blandt andet metoder med anvendelse af taleinterferensniveau i stedet for artikulationsindeks for mange typer af støj har givet rimelig nøjagtige resultater, bør man ikke anvende metoden på støjspektre med kraftige lav- eller højfrekvente komponenter. Herom anfører Beranek, 1954, at hvis lydtrykniveauet i oktaven fra 300 til 600 Hz er mere end 10 dB over lydtrykniveauet i oktaven fra 600-1200 Hz, bør det gennemsnitlige lydtrykniveau i de fire oktavnåb fra 300 Hz til 4800 Hz anvendes. Er lydtrykniveauet i oktaven fra 300 Hz til 600 Hz derimod ikke mere end 10 dB over lydtrykniveauet i oktaven 600-1200 Hz, kan man anvende gennemsnittet i de tre bånd fra 600 Hz til 4800 Hz.

veauet i et frit felt, som er forudsat i figur 2.4. I en afstand fra taleren på fx 4 m må man derfor i et rum kunne øge den maksimalt tilladelige værdi af SIL med ca. 4 dB, i 8 m afstand med ca. 7 dB.

Refleksionerne fra rummets begrænsningsflader bevirker imidlertid også, at der, efter at en stavelse er udtalt, og den direkte lyd har nået den lyttende, ankommer reflekteret lyd, som er forsinket i forhold til den direkte lyd. Dette kan have betydning, hvis den reflekterende flade befinder sig langt fra taleren. Den reflekterede lyd kan da ankomme så meget senere til den lyttende end den direkte lyd, at den reflekterede lyd (efterklangsllyden) må opfattes som en forøgelse af støj i rummet, og altså virker maskerende på den direkte lyd. Ved projektering af auditorier, teatre mv. kan man ved hjælp af metoder, som fx findes beskrevet i Beranek, 1954, og i ANSI - 1969, tage hensyn til dette fænomen. I ANSI - 1969 er således angivet en korrektion til det beregnede AI afhængig af rummets efterklangstid. Ved små efterklangstider, fx mindre end 2 sekunder, er korrektionen til AI meget lille, hvorfor man måske kan se bort fra efterklangstidens indflydelse på taleforståeligheden i forbindelse med de overslagsmæssige vurderinger, der her er tale om. Den efterklangstid, man normalt tilstræber at opnå i fx klasserum er af størrelsesorden 0,5 sekund.

Sammenhæng mellem taleinterferensniveau og lydniveau i dB(A) for vejtrafikstøj

Taleinterferensniveauet, SIL, for en støj afhænger af støjens frekvensspektrum. Det er nærliggende at forsøge at etablere en sammenhæng mellem lydniveau i dB(A) og SIL for vejtrafikstøj.

Spektret for vejtrafikstøj er afhængig af en lang række parametre. I denne forbindelse er især den dæmpning, lydbølgerne har været udsat for under deres udbredelse, vigtig. Dæmpningen kan være sket som følge af luftabsorption, terrændæmpning, skærmdæmpning, dæmpning ved transmission gennem en facade etc.

Fælles for næsten alle disse dæmpningsbidrag er, at de er størst ved de højeste frekvenser. Detaljerede over-

1000, 2000 og 4000 Hz får man $SIL_{707-5660} = \pm 9$ dB. Ved overslagsmæssige beregninger synes det rimeligt at anvende de standardiserede centerfrekvenser. Udendørs, tæt ved en vej, er vejtrafikstøjs taleinterferensniveau altså 8-9 dB mindre end støjens lydniveau i dB(A).

ad 2) Der findes ikke angivet tilsvarende generaliserede trafikstøjspektre indendørs. Dette kan dels hænge sammen med, at man måske ikke i så høj grad har haft brug for sådanne spektre, men en væsentlig faktor er nok, at så mange parametre har indflydelse på spektrets udseende. Ud over de parametre, som bestemmer spektret udendørs vil således fx facadens - herunder specielt vinduernes - lydisolerende egenskaber og det betragtede rums akustiske egenskaber spille afgørende ind.

Som eksempel kan man vælge at betragte et spektrum angivet i Ljunggren, 1972. Der er angivet det ækvivalente konstante lydtrykniveau pr. 1/3 oktav målt midt i et rum med et vindue ud mod en trafikåre. Ljunggren oplyser intet om rummets egenskaber eller om vinduets type, men resultatet må anses for rimelig repræsentativt for de forhold, der forekommer i praksis. Som det senere vil blive påpeget, er der nok ikke i denne sammenhæng grund til at foretage et meget detaljeret studium af de indendørs støjspektre. I figur 2.7 er vist det ækvivalente konstante lydtrykniveau pr. 1/3 oktav og pr. 1/1 oktav (beregnet på basis af 1/3-oktavspektret).

Det er ikke muligt direkte at beregne SIL , fordi lydtrykniveauet i 4 KHz-oktaven ikke er oplyst. Men hvis man forudsætter, at frekvensafhængigheden er sådan, at lydtrykniveauet aftager med 8 dB pr. 1/1 oktav som vist i figuren, kan man bestemme sammenhørende værdier af det totale lydniveau L_A i dB(A) og taleinterferensniveauet. Med de angivne forudsætninger er $SIL_{707-5660} = L_A \pm 18$ dB.

Det vil med andre ord sige, at man på grund af den ændring af trafikstøjspektret, der finder sted ved lydets transmission gennem facaden - primært en dæmpning af de højfrequente komponenter - faktisk kan forstå tale ved ca. 10 dB højere lydniveauer indendørs end udendørs. Dette forudsætter, at vinduerne er lukkede. Hvis vindu-

Forholdene indendørs er som nævnt mere komplicerede, og man kan diskutere, om det på denne baggrund er berettiget at korrigere for talens øgede lydtrykniveau i et lukket rum. Hvis man vælger at foretage en korrektion, vil de lydniveauer, som må anses for at være acceptable ud fra taleforståelighedskriteriet, være noget højere end udendørs, fx svarende til den forskel mellem frit felt og typisk rum, som er angivet i figur 2.5.

Sammenhæng mellem artikulationsindeks og lydniveau i dB(A) for vejtrafikstøj

For et givet støjspektrum kan man ved hjælp af de metoder, der er angivet i ANSI - 1969 bestemme den relative beliggenhed af støjens lydniveau i dB(A) og lydtrykniveauet af den idealiserede tale, sådan at man opnår en vilkårlig værdi af artikulationsindekset, AI. Artikulationsindekset for et talestyrkeniveau på 65 dB, det ækvivalente konstante lydtrykniveau L_{eq} , og en samtidig vejtrafikstøj med et lydniveau på 60 dB(A) er beregnet til $AI = 0,4$. Vejtrafikstøjens spektrum, udendørs, er som vist i figur 2.6.

"Signal/støjforholdet" er her 5 dB. En ændring af dette forhold på 1 dB vil bevirke en ændring af AI på 0.033. Et artikulationsindeks $AI = 0,6$ vil derfor kræve et signal/støjforhold på $5 + \frac{0,6-0,4}{0,033} \approx 11$ dB.

For at opnå et AI på henholdsvis 0,4 og 0,6 må man altså kræve et lydniveau af vejtrafikstøjen, der er henholdsvis 5 og 11 dB mindre end talens lydtrykniveau.

Lydtrykniveauet af tale i 1 m afstand fra læberne af mænd, der taler med hævet stemme i frit felt er i gennemsnit ifølge Beranek, 1954, 69 dB/20 μ Pa.

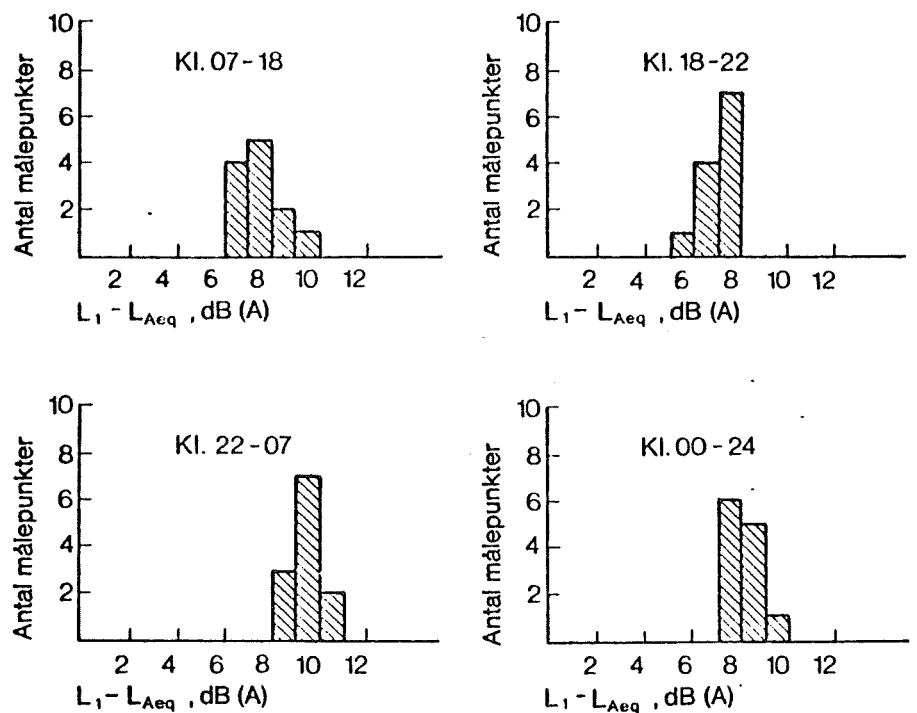
Korrektionen for dette niveau for andre stemmestyrker er ligeledes angivet i Beranek, 1954, se tabel 2.3.

Stemme- styrke	Normal stemme	Hævet (raised) stemme	Så højt som muligt uden at anstrenge (straining) stem- melæberne	Råbende (shouting)
Ændring dB	-6	0	+6	+12

Tabel 2.3 Ændring af lydtrykniveauet af tale ved ændring af stemmestyrke. (Efter Beranek. 1954).

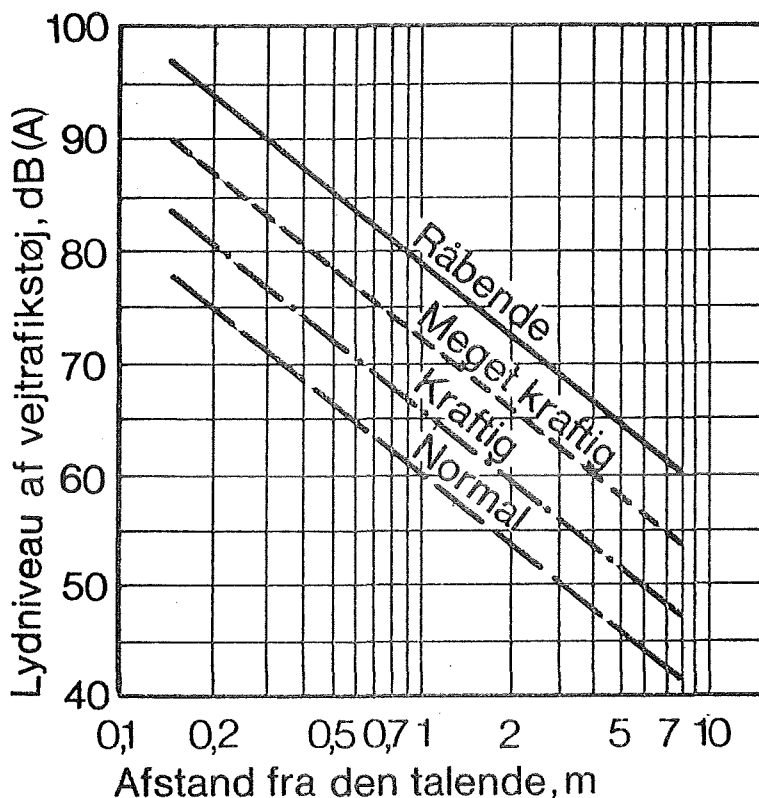
at man skal kunne forstå tale under alle forhold, er målet, må det maksimalt forekommende lydniveau fra trafikken ikke overstige det acceptable.

At stille krav baseret på det maksimalt forekommende lydniveau synes imidlertid ikke umiddelbart rimeligt. Et krav der baserer sig på, at lydniveauet i en vis del af den betragtede tid ikke må overskride en værdi, der umuliggør opfattelsen af tale, synes mere relevant. Hvilken procentdel af tiden, man skal vælge som kriterium, bestemmes af, hvilket støjmæssigt miljø, man ønsker at opnå. Tentativt kunne man foreslå som basis at anvende det lydniveau L_1 , som overskrides i 1% af tiden. Ved målinger (Lydteknisk Laboratorium, 1974), hver af 24 timers varighed, af støjen i 12 punkter ved stærkt trafikerede gader i København blev konstateret den i figur 2.8 viste forskel mellem L_1 og det ækvivalente konstante lydniveau L_{Aeq} , for de angivne perioder af døgnet. L_{Aeq} var 7-12 dB(A) mindre end L_1 .



Figur 2.8 Fordelingen af forskellen mellem det lydniveau, L_1 , som blev overskredet i 1% af måletiden, og det ækvivalente konstante lydniveau, L_{Aeq} , for forskellige perioder af døgnet bestemt ved måling i et antal punkter ved stærkt trafikerede gader (Lydteknisk Laboratorium, 1974).

i figuren er lydniveauet i samtalsituationen. Dette lydniveau kan være højere end det ækvivalente konstante lydniveau.



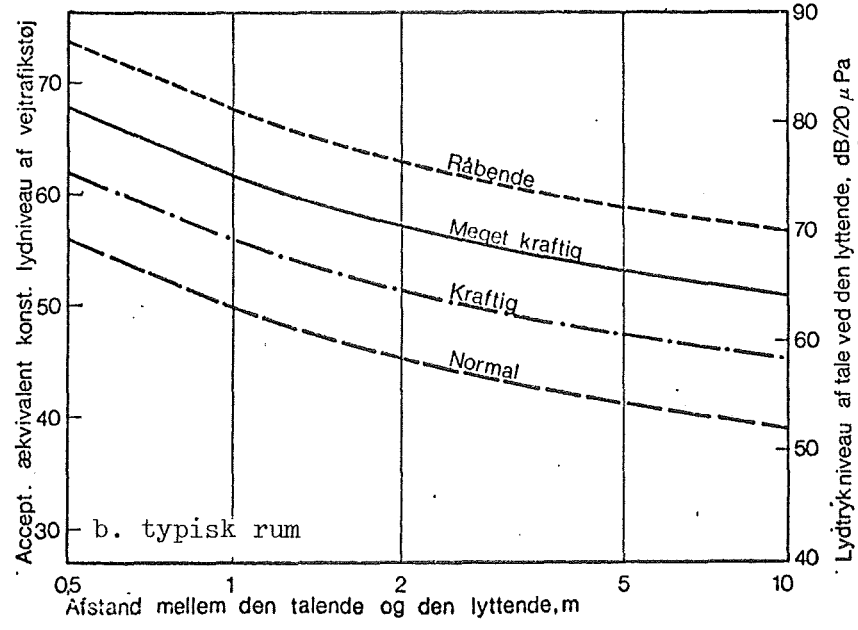
Figur 2.9 Støjs samtaleforstyrrende virkning. Forholdet mellem baggrundsniveau af trafikstøj, afstand fra taler og nødvendig stemmestyrke for at en lytter med normal hørelse skal kunne opfatte talen. (Efter Samhøllsplanering, 1972).

Figur 2.9 viser Beraneks data (tabel 2.2) ekstrapoleret til afstande på indtil 8 m - under antagelse af frit felt, jævnfør figur 2.5. Det ses endvidere ved nærlæsning, at de korrektioner, man har anvendt ved oversættelse af Beraneks acceptable SIL'er til lydniveau i dB(A) er + 7 dB for stemmestyrken "råbende" (shouting) og + 6 dB for de øvrige stemmestyrker.

Konklusion

For almindelige kommunikationssituationer bør kræves et artikulationsindeks $AI = 0,4$. Dette svarer til et acceptabelt lydniveau fra vejtrafikstøj, der er 5 dB mindre end talens lydtrykniveau ved den lyttende.

Hvis man definerer, at talen kun må maskeres af trafik-



Figur 2.10 Stemmestyrken - lydtrykniveauet - som funktion af afstanden mellem den talende og den lyttende. Gennemsnitsstyrke - lydtrykniveau - for en mandsstemme. Desuden er angivet det acceptable, ækvivalente, konstante lydniveau af vejtrafikstøj, dvs. at artikulationsindekset AI = 0,4.

- a) i frit felt, udendørs.
- b) i typisk rum.

2.6 Oplevet gene som følge af støjpåvirkning

De fleste af de undersøgelser, der er omtalt i det foregående, er undersøgelser udført i eksperimentelt fremkaldte situationer af støjs indflydelse på en bestemt proces. Det er nævnt, at resultaterne af sådanne undersøgelser er vanskelige at generalisere og specielt er det vanskeligt at undersøge langtidseffekten af støjpåvirkning. Nogle af disse problemer kan undgås, hvis man baserer vurderingen af, hvilket støjmæssigt miljø, man kan betragte som tilfredsstillende, på den grad af gene, mennesker i forbindelse med interviewundersøgelser giver udtryk for at opleve i deres daglige miljø som følge af støjpåvirkningen. Naturligvis er generaliseringen af resultater af sådanne undersøgelser også forbundet med problemer, hvilket vil fremgå af noget af det følgende.

Der findes blandt andet offentliggjort resultaterne af en omfattende svensk undersøgelse, Trafikbuller, 1968, hvis sigte har været at give et empirisk grundlag for fastsættelse af normer for tilladelig trafikstøjpåvirkning. Man har i undersøgelsen i princippet forsøgt at

middelbetragtninger - ikke nødvendigvis er nogen garanti for, at visse personer ikke vil føle sig stærkt generede på grund af de store individuelle variationer i følsomhed over for støjpåvirkning.

En forudsætning for, at man ved undersøgelser af denne art kan anskueliggøre sammenhængen mellem støjpåvirkningen og den oplevede grad af gene i et enkelt diagram - hvilket set ud fra et planlægnings synspunkt er det mest hensigtsmæssige - er, at såvel støjpåvirkningen som den oplevede grad af gene kan karakteriseres ved et enkelt tal. Både støjpåvirkningen og den oplevede grad af gene bestemmes af en lang række parametre. For at kunne karakterisere hvert af disse begreber ved et enkelt tal, er det altså nødvendigt på en eller anden måde at foretage en sammenvejning af de indgående parametres indflydelse.

Hvis et diagram, der viser den oplevede grad af gene som funktion af støjpåvirkningen, skal kunne anvendes i planlægningen, må støjpåvirkningen kunne beskrives ud fra situationskarakteristika, som kan medtages i eventuelle beregninger allerede på planlægningsstadiet.

Mål for støjpåvirkning

I den omtalte svenske undersøgelse valgte man at karakterisere støjpåvirkningen ved det ækvivalente konstante lydniveau på døgnbasis, idet man dog også bestemte de lydniveauer L_{10} og L_{50} , som blev overskredet i henholdsvis 10% og 50% af døgnet. Der henvises i øvrigt til afsnit 1.8.

Nogle parametre, som er bestemmende for den oplevede grad af gene

Nogle af de parametre man kan forsøge at indarbejde i et forsøg på at beskrive en persons totale oplevelse af støjpåvirkningen er fx

- a) Forekomsten af gene.
- b) Intensiteten af genen - oplevet af den interviewede.
- c) Varigheden af de generende begivenheder - dvs. hvor ofte og hvor længe ad gangen, den interviewede føler sig generet. Der er konstateret en nær sammenhæng mellem, hvor ofte og hvor meget den interviewede føler sig generet.

liste, som grundlag for en vurdering af genen fra en ulempefaktor. Det er ikke en selvfølge, at det, at en person skriver under på en sådan liste, afhænger af, om personen føler sig generet af den pågældende ulempefaktor eller ikke. Derfor har man foretaget en speciel undersøgelse af dette i forbindelse med en undersøgelse vedrørende luftforurening. Resultatet var ifølge Sörensen, 1971, at den gruppe af personer, som skrev under, ikke kunne betragtes som repræsentative for den gruppe af mennesker, der var udsat for den omhandlede ulempefaktor. Omkring halvdelen af underskriverne var ikke generet af luftforureningen, ubehagelig lugt. Navnelisten gav altså ikke en pålidelig registrering af genernes omfang - ikke engang blandt de underskrivende. Det må være andre faktorer, som er afgørende for, om en person skriver under på en sådan liste.

Også forskellige individkarakteristika, dvs. "egenskaber" hos de interviewede, kan tænkes at influere på oplevelsen af støjpåvirkning. Man har studeret indflydelsen af forskellige individkarakteristika, køn, alder, civilstand og uddannelse, på den oplevede grad af gene. Det viste sig, ved den undersøgelse, der er refereret i Trafikbuller, 1968, at de fleste af disse faktorer ikke havde nævneværdig indflydelse på den oplevede grad af gene. I forskellige andre undersøgelser er fundet sammenhæng mellem henholdsvis alder og uddannelse og den oplevede grad af gene. Man har endvidere, Cederlöf, 1967, kunnet konstatere en sammenhæng mellem en persons holdning til en støjkilde og den oplevede grad af gene. Det har således været muligt at påvirke holdningen over for en støjkilde hos personer, man interviewede, i positiv retning, og man har derved opnået, at disse personer angav at være mindre generet end en kontrolgruppe, hvis holdning ikke havde været udsat for påvirkning.

I denne forbindelse bør det nævnes, at det er meget betænkeligt at forsøge at løse støjproblemer ved at ændre menneskers holdning til støjkilderne. I de fleste tilfælde vil det være gener, der er årsag til den negative holdning over for støjkilden. Hvis dette er tilfældet, er det uhensigtsmæssigt at undertrykke reaktio-

over for andre typer af støj.

Man har i undersøgelsen anvendt et indeks for oplevet grad af gene. Dette indeks er konstrueret under hensyntagen til parametrene: angivet forekomst af gene, den oplevede genes intensitet og hyppigheden i forekomsten af oplevet gene.

Man har brugt den oplevede intensitet af genen, fordi man fra tidligere undersøgelser vidste, at mange interviewpersoner angiver at være generede, selv om de oplever generne som ringe eller ubetydelige. Hyppigheden er medtaget som parameter for at forhindre, at personer, som relativt sjældent er udsat for støjpåvirkning, men som ved disse lejligheder angiver at være stærkt generet, skal blive klassificeret som i almindelighed udsat for kraftig støjpåvirkning.

Det anvendte mål for den oplevede grad af gene blev konstrueret på følgende måde:

De indgående parametre blev karakteriseret ved følgende udsagn (muligvis kan nuancer i det oprindelige, svenske ordvalg gå tabt ved en oversættelse. Derfor er de originale betegnelser anført i parentes):

- a. generes ikke (ej störd)
- b. generes ikke særlig meget (störs ej särskilt mycket)
- c. generes ganske meget (störs ganska mycket)
- d. generes meget (störs mycket)

3) Hyppighed i forekomst af oplevet gene

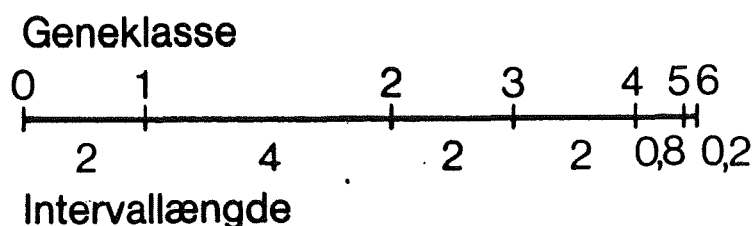
- a. nogle gange om året (någon gång per år)
- b. en eller et par gange (en eller ett par gånger om måneden i mån)
- c. en eller et par gange (en eller ett par gånger om ugen i veckan)
- d. en eller et par gange (en eller ett par gånger om dagen dagligen)

Samtlige mulige kombinationer af angiven forekomst, in-

Da visse af de kombinationer, som indgår i den opstillede, hypotetiske gradueringsskala, kunne forventes at ville forekomme meget sjældent, blev et antal kombinationer slået sammen, således at der fremkom en syv-delt skala, indeks 2 i tabellen. At dette er tilfældet blev bekræftet af fordelingen af de svar, man fik i interviewundersøgelsen.

Den fremkomne skala gør det muligt at rangordne de interviewede personers udsagn efter den oplevede grad af gene. For at få et mere præcist mål for den oplevede grad af gene, end en sådan indbyrdes rangordning kan give, blev der udført en speciel undersøgelse, som skulle gøre det muligt at bestemme den indbyrdes størrelse af intervallerne mellem de syv opstillede geneklasser.

Den oftest forekommende kombination inden for hver af de syv geneklasser blev udvalgt. 47 forsøgspersoner blev bedt om på en femdelt skala at bedømme afstanden mellem graden af oplevet gene svarende til geneklasse 0 og 1 relativt til graden af gene svarende til geneklasse 2. Derefter bedømte de tilsvarende afstanden mellem geneklasse 1 og 2 relativt til geneklasse 3, etc. Middelværdien af deres bedømmelser blev beregnet, hvorefter afstanden mellem graden af oplevet gene svarende til de to første geneklasser arbitrært blev sat til to enheder. Ud fra denne reference kunne de øvrige intervaller bestemmes. Resultatet af disse beregninger ses i figur 2.11.



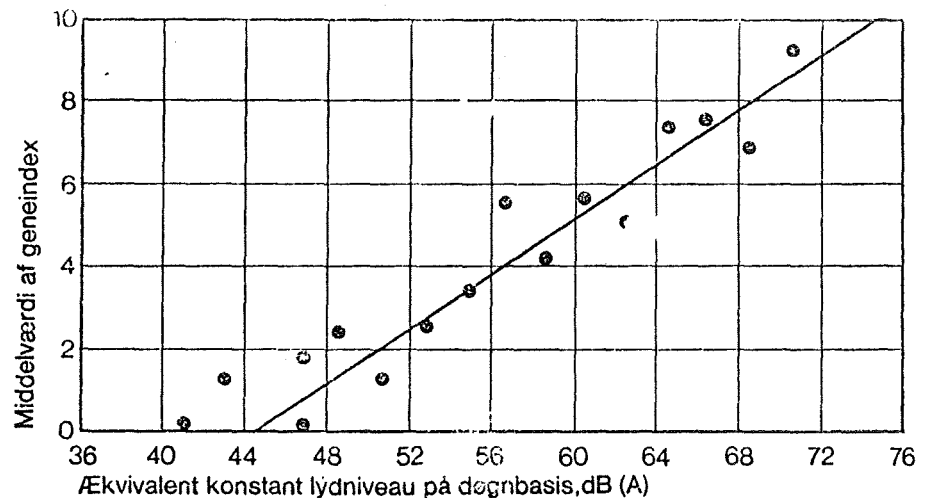
Figur 2.11 Intervalllængden i indeks 2 ifølge bedømmelser foretaget af 47 forsøgspersoner. (Efter Trafikbuller, 1968).

På grund af, at intervallet mellem geneklasse 5 og 6 blev bedømt til at være så lille, blev de to geneklasser slået sammen, og den endelige skala fik derpå det i tabel 2.5 viste udseende (geneklasse 5 er karakteriseret ved "grænsekombinationerne" for hver geneklasse i tabel 2.4).

Sammenhæng mellem oplevet grad af gene og støjpåvirkning

Da man sammenholdt de registrerede mål for støjpåvirkningen og den oplevede grad af gene, konstateredes ingen sikker forskel i korrelationen mellem de forskellige mål for støjpåvirkningen og den oplevede grad af gene. Man mener dog på basis af de indsamlede resultater at kunne sige, at et mål, der giver et tillæg til middelværdien for lydniveauets fluktuationer, vil give den bedste korrelation. Blandt andet med den begrundelse, at det ækvivalente konstante lydniveau er meget enkelt at anvende, og allerede er anvendt ved et stort antal målinger, blev det ækvivalente konstante lydniveau i dB(A) på døgnbasis valgt som mål for støjpåvirkningen.

På basis af undersøgelsens resultater kunne konstateres en lineær sammenhæng mellem oplevet grad af gene og støjpåvirkning i et område for støjpåvirkning fra et ækvivalent konstant lydniveau på døgnbasis på 50 dB(A) til 70 dB(A). I figur 2.12 er vist et eksempel på, hvordan en afbildning af sammenhængen kan se ud. Som mål for støjpåvirkningen er anvendt den målte værdi af det ækvivalente konstante lydniveau på døgnbasis.



Figur 2.12 Middelværdi af geneindekset i 2 dB(A)-klasser af støjpåvirkning (ækvivalent konstant lydniveau på døgnbasis korrigeret for afstandsdæmpning og skærmvirkning). (Efter Trafikbuller, 1968).

lent konstant lydniveau på 50-55 dB(A) på døgnbasis udendørs - i frit felt - kan man forvente, at 15-20 % af de personer, der er udsat for støjpåvirkningen, vil føle sig generet.

Med normalt forekommende vindueskonstruktioner svarer denne støjpåvirkning til et ækvivalent konstant lydniveau på ca. 30 dB(A) på døgnbasis indendørs med lukkede vinduer. Med den normalt forekommende fordeling af trafikken på døgnet, svarer dette til et ækvivalent konstant lydniveau på ikke over 35 dB(A) om dagen og ikke over 25 dB(A) om natten.

2.7 Støjpåvirkninger, der tillader, at følsomme processer kan foregå uforstyrret

For at forskellige byfunktioner skal kunne fungere tilfredsstillende, må støjpåvirkningen holdes under visse grænser, der tillader, at støjfølsomme processer kan foregå uforstyrret.

Typiske støjfølsomme processer er:

- søvn
- afslapning, hvile
- koncentration
- samtale
- undervisning

Der findes ikke resultater af undersøgelser, der direkte angiver under hvilken grænse, støjpåvirkningen må holdes, for at hver enkelt af disse processer kan foregå uforstyrret. I de foregående afsnit er omtalt nogle af de resultater, man kan anvende i et forsøg på at fastlægge sådanne grænser. Resultaterne af interviewundersøgelserne giver et billede af forholdene i boliger, hvor en kombination af de nævnte processer finder sted. Ved at sammenholde de tilgængelige resultater af undersøgelser af enkeltprocessernes støjfølsomhed med resultaterne af disse interviewundersøgelser, kan man mere eller mindre direkte angive et mål for de enkelte processers støjfølsomhed i form af en grænse, hvorunder støjpåvirkningen må holdes, for at processen kan foregå uforstyrret. Dette er nok så vidt, det er muligt at komme i dag inden for rammerne af denne publikation.

til det krav, man må stille for natperioden og fx kræve, at det ækvivalente konstante lydniveau om dagen ikke må overskride 35 dB(A) indendørs, igen kombineret med kravet om, at de enkelte køretøjers maksimale lydniveau ikke må overstige 45 dB(A) indendørs. Ved en sådan fremgangsmåde accepterer man at personer, som må sove om dagen (fx skifteholdsarbejdere mv.) får dårligere forhold end den øvrige befolkning. Normalt accepterer man i denne slags sammenhænge, at en vis procentdel af befolkningen er generet af forskellige samfundsaktiviteter. Da støjen fra andre kilder som nævnt er kraftigere om dagen end om natten, synes det alt i alt rimeligt med et lempeligere krav. Skifteholdsarbejdernes problem på dette og andre områder løses langt mere effektivt ved afskaffelse af skifteholdsdriften.

Afslapning og hvile

For at fastlægge en grænseværdi for støjpåvirkning, der tillader, at processerne afslapning og hvile - normalt forekommende processer i boligen - kan foregå uforstyrret, er det igen nødvendigt at se på resultaterne af den undersøgelse, der er refereret i Trafikbuller, 1968. På samme måde som i det foregående afsnit kan indirekte fastsættes en grænseværdi svarende til et ækvivalent konstant lydniveau på 35 dB(A) indendørs. Problemet om, hvorvidt man i forbindelse med planlægningen bør søge at skabe mulighed for, at mennesker kan slappe af på tilsvarende måde på rekreative arealer udendørs, vil blive berørt i afsnit 2.8.

Koncentration

Processen koncentration dækker den situation, at man fx ønsker at læse eller skrive noget - den kunne også benævnes skriftlig kommunikation eller intellektuelt arbejde. Det forekommer sandsynligt, at man kan acceptere noget højere lydniveau end for hvile og rekreation. På basis af blandt andet den undersøgelse, som er omtalt i afsnit 2.3 foreslås fastsat en grænseværdi svarende til ækvivalent konstant lydniveau på 40 dB(A).

Samtale

Samtale er en støjfølsom proces, fordi støj maskerer ta-

I Samhållsplanering, 1972, anfører man også, at mulig- hederne for at tage hensyn til enkelte elevs stjfflsomhed ved placering af eleverne i undervisningsloka- lerne er meget ringe. Derfor finder man det særlig vigtigt, at den anbefalede værdi ikke overskrides i undervisningslokaler.

2.8 Gruppering af byfunktioner efter deres stjfflsomhed

I tabel 2.6 er vist en oversigt over de grænseværdier for stjppåvirkning af visse stjfflsomme processer, som blev fastlagt i afsnit 2.7.

Proces	Stjppåvirkning	
	ækvivalent konstant lydniveau, dB(A)	Maksimalt lyd- niveau, dB(A)
Søvn	25	45
Afslapning, hvile	35	45
Undervisning	35	45 x)
Koncentration	40	50 x)
Samtale	45-50	55-60 x)

x) L_1 , jævnfør afsnit 2.5.

Tabel 2.6 Stjppåvirkninger fra vejtrafik, som tillader, at de anførte processer kan foregå uforstyrret. De anførte grænseværdier omhandler lyd- niveauet indendørs, - for samtale dog såvel indendørs som udendørs.

Betragter man de processer, der skal kunne foregå uforstyrret i en vilkårlig byfunktion, kan man fastlægge en "støjmæssigt dimensionsgivende" proces for byfunktionen. Dermed kan man fastlægge en grænse for den stjppåvirkning, den betragtede byfunktion må udsættes for.

En sådan grænse vil med den betragtningsmåde, der er anvendt her, være en absolut værdi. Holdes stjppåvirkningen under stjppåvirkningen svarende til grænseværdien, må det støjmæssige miljø betegnes som tilfredsstillende.

I engelsk litteratur om emnet ser man ofte en anden betragtningsmåde anvendt, idet man vurderer en vejs indflydelse på det støjmæssige miljø i omgivelserne ud fra,

En legeplads er i støjmessig henseende en anden type byfunktion. I en stor del af den tid, legepladsen bruges, vil de legende frembringe støj, og det kan da egentlig være ligegyldigt, om legepladsen samtidig er belastet af trafikstøj, sålænge lydniveauet af trafikstøjen blot ikke er højere end lydniveauet af egenstøjen på legepladsen. Men ofte forekommer perioder, hvor der måske ikke er særlig mange børn på legepladsen, eller hvor børnene leger forholdsvis stilfærdigt. I den situation vil det være uheldigt for miljøet på legepladsen, hvis støjen fra trafikken bevirker, at man fx må hæve stemmen for at gøre sig forståelig.

Situationen kompliceres yderligere af, at den støjfølsomme byfunktion - en legeplads - altså i perioder fungerer som støjkilde. Den bør derfor ikke uden videre placeres tæt op ad andre støjfølsomme byfunktioner.

En tilsvarende problematik har man ved placering af fx en vuggestue eller en børnehave. En sådan byfunktion er støjfølsom, fordi børnene skal kunne sove (eventuelt endog udendørs) om dagen. Men samtidig er den en støjkilde: børnene støjer, når de leger, der kører biler til og fra stedet morgen og aften, børnene græder måske, når forældrene forlader dem etc. etc. Det kan altså give anledning til gener, hvis sådan en børneinstitution placeres i et stille villakvarter. Noget tilsvarende gælder for en skole, hvor både trafik til og fra skolen og børnenes leg giver en del støj i perioder.

En tredje type af byfunktioner er funktioner, hvor det, som oven for er kaldt egenstøjen, forekommer konstant. Som eksempel kan man tage en industrivirksomhed, hvor der i hele arbejdsperioden arbejdes med støjende maskiner. Lydniveauet af støjen fra trafikken bør ikke overskride lydniveauet fra støjen fra de arbejdende maskiner. Men når dette forbehold er taget, må man egentlig betragte denne arbejdsplads som ufølsom over for trafikstøjpåvirkning. Den støj fra maskinerne, man bør gå ud fra ved en vurdering af virksomhedens egenstøj, er naturligvis den støj, der findes, når man har gjort, hvad der er teknisk muligt for at formindske støjen fra maskinerne.

<u>BYFUNKTION</u>	<u>LOKALITET</u>
1) Boliger	a. Beboelsesrum b. Birum
2) Hospitaler, plejehjem	a. Sygestuer, beboelsesrum b. Behandlingsrum
3) Undervisningsinstitutioner	Klasserum og lignende
4) Børneinstitutioner	a. Vuggestue - børnehave b. Ungdomsklubber og lignende
5) Arbejdspladser (Industrivirksomheder og kontorer)	a. Arbejdsrum med lavt baggrundsstøjniveau b. Rekreative arealer
6) Servicefunktioner (Butikker mv.)	
7) Rekreative arealer	a. Aktive b. Passive

De fleste punkter taler vist for sig selv. Ved opdelingen af de rekreative arealer kunne man fx skelne mellem bolignære arealer, arealer i boligområder, ved sygehuse,

Byfunktion	Boliger	Hospitaler	Undervisningsinstitutioner	Børneinstitutioner	Arbejdspladser	Servicefunktioner	Rekreative arealer
<u>Lokalitet</u>	Beboelse Birum	Sygestuer Behandlingsrum	Klasserum	Vuggestuer/børnehaver Ungdomsklubber	Arbejdsrum m. lavt baggrundsstøjniveau Rekreative arealer		Aktive Passive
<u>Proces</u>							
Søvn	X	X		X			
Afslapning/hvile	X	X			X		X
Undervisning			X				
Koncentration	X	X X	X	X	X		
Samtale	X X	X X	X	X X	X X	X	X X
<u>Dimensionsgivende proces</u>							
	Søvn Samtale	Søvn Koncentration	Undervisning	Søvn Koncentration	Koncentration Afslapning/hvile	Samtale	Samtale Afslapning/hvile

Tabel 2.7 Oversigtsmæssig opstilling af de støjfølsomme processer, der bør kunne foregå uforstyrret i forskellige byfunktioner, og angivelse af den "støjmassigt dimensionsgivende" proces for hver byfunktion (jævnfør i øvrigt teksten).

3. STØJKILLER

Jørgen Kragh

Støjen i byområder stammer fra mange forskelligartede kilder. Blandt de mest udbredte og belastende støjkilder er biltrafikken, og denne skal derfor behandles særlig indgående.

3.1 Vejstøj

Det er almindeligt, når man beskæftiger sig med støj fra motorkøretøjer, at man indskrænker sig til at betragte to kategorier: personbiler og tunge køretøjer. De øvrige typer af motorkøretøjer giver under normale omstændigheder kun et meget lille bidrag til den totale støjfrembringelse. Her betragtes køretøjer med en totalvægt større end 3500 kg som tunge køretøjer. Køretøjer med mindre totalvægt klassificeres som personbiler. Der er inden for hver af de to kategorier betydelige forskelle i støjudsendelsen fra det enkelte køretøj afhængig af blandt andet køretøjets type, dets vedligeholdelsestilstand og den måde, det køres på.

For lastbiler er den udsendte støj endvidere afhængig af den last, de transporterer. Et læs gammelt jern kan eksempelvis bidrage kraftigt til støjudsendelsen, hvis lastbilen kører på en lidt ujævn vej.

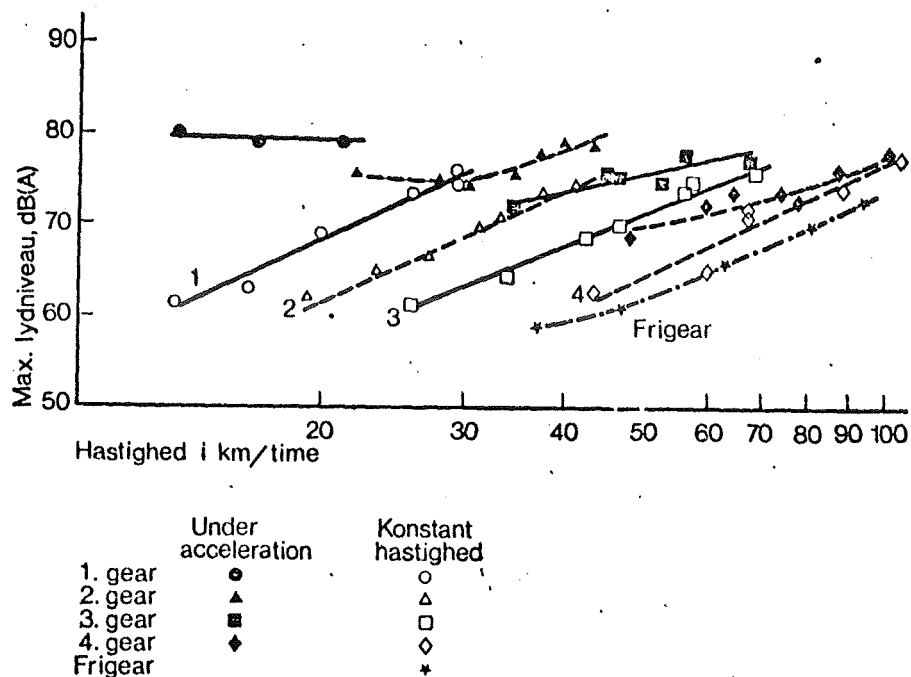
Hvis man ser bort fra disse individuelle forskelle, er der en række fælles træk ved støjudsendelsen fra de to kategorier af køretøjer, og der er visse karakteristiske forskelle mellem de to kategorier. Fælles for begge kategorier er, at støjudsendelsen primært afhænger af køretøjets hastighed, men også valg af gear, acceleration etc. har betydning.

3.2 Det enkelte køretøj som støjkilde

Støjen fra et motorkøretøj er sammensat af bidrag fra en række forskellige lydkilder. Ved detaljerede studier af støj fra motorkøretøjer betragtes bidragene til den totale støjudsendelse fra: motor, transmission, ventilator, indsugning, udstødning, bremses, dæk, karosseri (vindstøj og raslelyde), specielt udstyr (fx køleanlæg) og læs.

køretøjet.

For det enkelte køretøjs støjdsendelse er dets hastighed den væsentligste parameter, mens kørselsbetingelserne i øvrigt som nævnt dog også er af betydning. Der findes i litteraturen kun ret få systematiske undersøgelser af denne problematik. Et eksempel på et måleresultat er vist i figur 3.1. Tilsvarende undersøgelser er udført i Norge, Ringheim 1972.



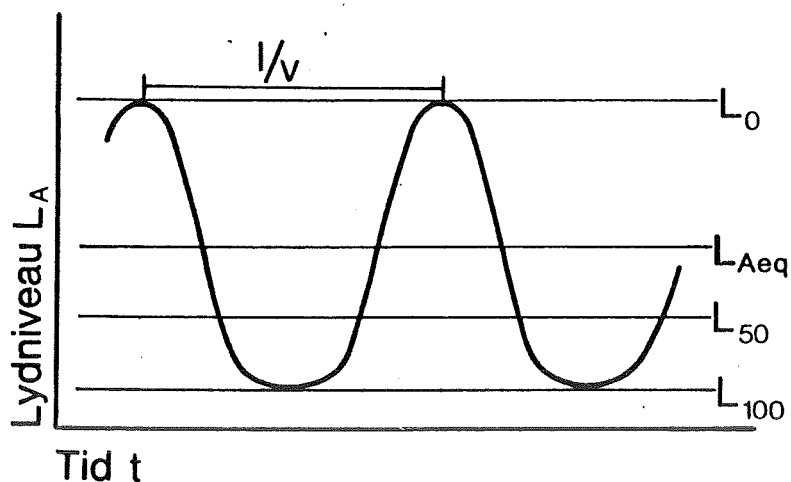
Figur 3.1 Eksempel på resultater af målinger af støjen fra en personbil med 1100 cm³ motor. Maksimalt lyd-niveau ved forbikørsel i 7,5 m afstand som funktion af køretøjets hastighed under forskellige kørselsbetingelser (efter Harland, 1970).

Figuren viser som funktion af hastigheden det maksimale lyd-niveau i dB(A) 7,5 m fra en enkelt personbil med 1100 cm³ motor, som kører fordi målestedet med forskellige motoromdrejningstal i alle gear, med konstant hastighed i forskellige gear og ved forbikørsel med standset motor, i frigeare eller med koblingspedalen trådt ned. Under acceleration er det maksimale lyd-niveau højt og ret uafhængigt af hastigheden, mens lyd-niveauet under forbikørsel med konstant hastighed varierer med hastigheden og valget af gear. De norske undersøgelser har givet lignende resultater.

3.3 Veje som støjkilder

Støjen fra trafikken er i et punkt i nærheden af en vej

punkt ved at addere lydeffekten fra de enkelte lydkilder uden at tage hensyn til faseforholdene i lydtrykkets variation. Lydniveauet i et punkt i en given afstand fra en sådan vej varierer med tiden som vist i figur 3.3.



Figur 3.3 Lydniveauet som funktion af tiden i et observationspunkt nær en vej som den, der er vist i figur 3.2.

På figuren er vist, at tidsafstanden mellem de maksimalt optrædende lydniveauer, L_0 , er $1/v$, idet de optræder, hver gang en punktkilde befinder sig lige ud for observationspunktet. L_0 er større end det maksimale lydniveau fra en enkelt punktkildes passage, fordi også andre punktkilder bidrager til lydniveauet. På figuren er vist L_{Aeq} , L_{50} og L_{100} for at anskueliggøre betydningen af disse begreber. Der henvises i øvrigt til afsnit 1.8.

På grundlag af en sådan model kan udledes udtryk for alle de angivne karakteristiske værdier af lydniveauet som funktion af a , l , v , t og lydeffekten P_a fra den enkelte punktkilde. Dette er gjort i fx Rathe, 1966.

I denne sammenhæng er primært det ækvivalente konstante lydniveau, L_{Aeq} , af interesse. Man kan da anvende en lignende vejmodel, der blot ikke forudsætter noget om køretøjernes indbyrdes afstand. Det kan vises, Schreiber, 1969, at det for en trafikstrøm gælder, at

$$L_{Aeq} \approx 10 \log \frac{n P_a p c}{2 a v p_0} \quad (3.1)$$

under forudsætning af, at lydniveauet aftager med 6 dB

- 2) at hastighedsafhængigheden er den samme for personbiler og tunge køretøjer, blot giver de tunge køretøjer ved forbikørsel med samme hastighed et lydniveau, som er 10 dB højere end lydniveauet ved en personbils forbikørsel. Flere undersøgelser har givet forskellige sammenhænge mellem hastighed og lyd-niveau for personbiler og lastbiler. Det er muligt at indbygge forskellige hastighedssammenhænge for de to køretøjskategorier. Normalt er spredningen på måleresultaterne langt større for lastbilernes vedkommende end for personbilernes. På det foreliggende grundlag vil der derfor nok ikke være rimelighed i at regne med forskellige hastighedssammenhænge.
- 3) at personbiler og lastbiler kører med samme hastighed - dette vil oftere være tilfældet i bytrafik end i fritkørende landevejstrafik. I praksis har man naturligvis en vis hastighedsfordeling. Hastigheden v er da køretøjernes middelhastighed.
- 4) at antallet af tunge køretøjer angives som $\frac{pn}{100}$, hvor p er den procentiske andel af tunge køretøjer.
- 5) at n indsættes i enheden køretøjer/time
 v indsættes i enheden km/t
 a indsættes i enheden m
 p indsættes i enheden 0/0

Under disse forudsætninger får man for L_{Aeq} i afstanden a

$$L_{Aeq} = 59 - 10 \log a + 10 \log n + 10 \log \frac{100 + 9p}{100} + 0,16 v - 10 \log v \quad (3.3)$$

Afstanden a er afstanden til den idealiserede vej. I praksis kan man anvende afstanden til vejmidten - ved detaljerede beregninger for korte afstande kan man beregne bidragene fra hver vognbane for sig og addere disse bidrag.

En anden mulighed er at beregne en ækvivalent afstand, dvs. den afstand i hvilken den idealiserede vej skal ligge for, at lydniveauet netop bliver det samme som ved den "praktiske" vej. Der findes i litteraturen udledt udtryk for den ækvivalente afstand under forskellige forudsætninger.

Med de opstillede forudsætninger aftager det ækvivalente konstante lydniveau med 3 dB(A) pr. fordobling af afstanden til vejen - i modsætning til afstandslovens 6 dB pr. fordobling af afstanden fra en punktformet lydkilde. Dette skyldes, at den samtidige tilstedeværelse af flere punktformede lydkilder ud for observationspunktet delvis kompenserer for spredningen af lydeffekten fra den enkelte punktkilde.

Vejbelægningens type har indflydelse på såvel det maksimale lydniveau i dB(A) ved enkeltkøretøjers forbikørsel som på støjens frekvensspektrum. Der findes i litteraturen flere undersøgelser af dette emne. Det er endvidere som tidligere omtalt af betydning, om vejbelægningen er våd eller tør. Der kan eventuelt tages hensyn til denne faktor ved et sæt af korrektioner til det beregnede ækvivalente konstante lydniveau i dB(A), som i princippet er gyldigt for en tør vejbelægning af asfaltbeton. Det er dog ikke skønnet relevant at angive sådanne korrektioner i denne sammenhæng.

3.4 Ændringen af det ækvivalente, konstante lydniveau af vejtrafikstøj ved ændring af de trafikale parametre

Selv om ændringen af L_{Aeq} ved ændring af de trafikale parametre omtales nærmere i afsnit 6, synes det rimeligt på dette sted kort at angive ændringen af L_{Aeq} beregnet efter (3.3), ved ændring af parametrene.

Ændring af trafikmængden

Under forudsætning af, at de øvrige parametre er uændrede - i hvilken grad dette er tilfældet i praksis diskuteres i afsnit 6 - ændrer det ækvivalente konstante lydniveau sig med 3 dB(A) ved en fordobling af trafikmængden, n .

Ændring af hastigheden

Den hastighedsafhængighed, som er givet ved (3.2) for det maksimale lydniveau ved enkeltkøretøjers passage, giver ved en fordobling af hastigheden fra 40 til 80 km/t en forøgelse af lydniveauet på 6,4 dB(A), mens en ændring fra 80 til 160 km/t giver + 12,8 dB(A). Når man skal angive virkningen på det ækvivalente konstante lydniveau af støjen fra trafikken på en vej, kommer der imidlertid,

Ændring af trafiksammenstillingen

Ved hjælp af udtrykket (3.3) for L_{Aeq} kan man direkte angive den beregnede ændring af L_{Aeq} ved en ændring af den procentiske andel tunge køretøjer, p . Ændringen er angivet i tabel 3.2 for forskellige værdier af p .

Oprindelig lastbil- %	Ny lastbil-%								
	0	5	10	15	20	30	40	50	
0	0	+1,6	+2,8	+3,7	+4,5	+5,7	+6,6	+7,4	
5	-1,6	0	+1,2	+2,1	+2,9	+4,1	+5,0	+5,8	
10	-2,8	-1,2	0	+0,9	+1,7	+2,9	+3,8	+4,6	
15	-3,7	-2,1	-0,9	0	+0,8	+2,0	+2,9	+3,7	
20	-4,5	-2,9	-1,7	-0,8	0	+1,2	+2,1	+2,9	
30	-5,7	-4,1	-2,9	-2,0	-1,2	0	+0,9	+1,7	
40	-6,6	-5,0	-3,8	-2,9	-2,1	-0,9	+ 0	+0,8	
50	-7,4	-5,8	-4,6	-3,7	-2,9	-1,7	-0,8	0	

Tabel 3.2 Beregnet ændring i dB(A) af det ækvivalente konstante lydniveau ved ændring af den procentiske andel tunge køretøjer, p (alle andre parametre holdt konstant).

Ønsker man at vurdere ændringen af det ækvivalente konstante lydniveau ved indførelse af forbud mod tung trafik, er det nødvendigt at gribe tilbage til udledelsen af udtrykket (3.3) for L_{Aeq} , idet man ved indførelse af forbud, samtidig med, at p bliver nul, ændrer trafikmængden n .

Leddene $10 \log n + 10 \log \frac{100+9p}{100} = 10 \log \left\{ \frac{n(100-p)}{100} + \frac{10 n p}{100} \right\}$, bliver $10 \log \frac{n(100-p)}{100}$. p er den oprindelige procentiske andel af tunge køretøjer. Ændringerne er

$$L_{Aeq}(før) - L_{Aeq}(efter) = 10 \log \frac{\frac{n(100-p)}{100} + \frac{10 n p}{100}}{\frac{n(100-p)}{100}} = 10 \log \frac{100+9p}{100-p}$$

Reduktionen af L_{Aeq} ved indførelse af forbud mod tung trafik er angivet i tabel 3.3 for forskellige værdier af den oprindelige procentiske andel af tunge køretøjer.

Det bør måske atter understreges om tabel 3.2 og 3.3, at forudsætningen for gyldigheden af disse specielt er, at lydniveauets hastighedsafhængighed for lastbiler er den samme som for personbiler, at lastbilerne ved forbikør-

fikstøjspektrum internationalt - blandt andet med henblik på en lydisolationsmæssig klassifikation af vinduer - men der findes for tiden næsten lige så mange forslag til spektre, som der findes institutioner/personer med interesse inden for området vejtrafikstøj. Det ville muligvis være rimeligt at arbejde med to spektre; et for hurtigkørende landevejstrafik og et for bytrafik.

4. LYDUBREDELSE

Jørgen Kragh

I afsnit 1 og 3 har det kort været berørt, hvordan lyden udbreder sig under meget idealiserede forhold. Det har været forudsat, at lydudbredelsen fandt sted i et frit felt i et halvuendeligt rum, dvs. i plant, uskærmet terræn. Der er endvidere set bort fra den lydabsorption, der finder sted under lydets udbredelse i luft, hvilket er en rimelig tilnærmelse med de udbredelsesafstande, der er relevante, når man betragter vejtrafikstøj i byområder. Endelig er terrænet antaget at være totalreflekterende.

I praksis er lydudbredelsesforholdene i byområder mere komplicerede som følge af

- at terrænet er delvist lydabsorberende,
- reflekterende fladers tilstedeværelse,
- skærmning af lyden på grund af tilstedeværelsen af egentlige støjskærme, bebyggelse eller eventuelt beplantning,
- meteorologiske forholds indflydelse, og
- at lyd-kilden eventuelt er beliggende over eller under det omliggende terræn.

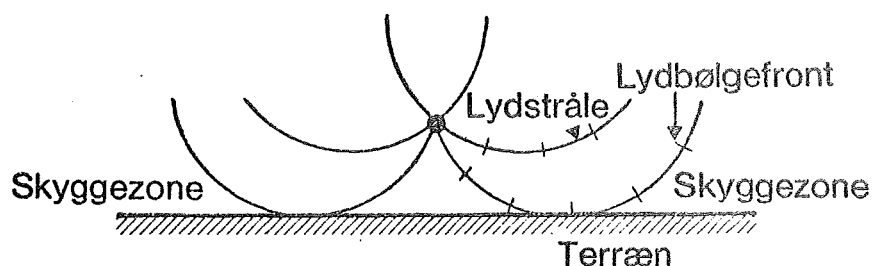
Disse faktorer optræder i praksis i et stort antal forskellige kombinationer. Dette vanskeliggør systematiske undersøgelser af lydudbredelsen i byområder.

Set fra et akustisk synspunkt synes det at være relevant, når man vil forsøge at beskrive lydudbredelsen i byområder, at skelne mellem fire forskellige typer af situationer, nemlig

- smalle city-gader flankeret af relativt høje bygninger,
- brede gader eller boulevarder flankeret af normal etagebebyggelse,
- relativt åbne by- og forstadsarealer med individuelle huse med brudt randbebyggelse, og
- åbne parkarealer indesluttet af gadernes netværk.

Inden for hver af disse bysituationer findes en lang række af mulige konfigurationer af veje og omgivelser.

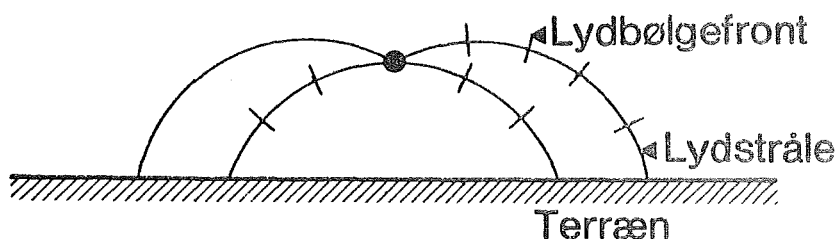
betyder, at den nederste del af en bølgefront bevæger sig hurtigere end den øverste del, og at lydbølgerne afbøjes opad i forhold til situationen i figur 4.1 (figur 4.2).



Figur 4.2 Illustration af lydudstrålingen fra en punktformet lydkilde i en atmosfære, hvor temperaturen aftager med voksende højde over terræn, og hvor der dannes skyggezoner (efter Rudnick, 1957).

Det fremgår af figuren, at der findes en begrænset lydstråle, som netop strejfer terrænet i nogen afstand fra lydkilden og som definerer en skyggezone, hvortil der ikke transmitteres lydenergi.

Hvis temperaturen vokser med voksende højde over terræn (temperaturinversion - positiv temperaturgradient), øges lydhastigheden med højden, og den øverste del af lydbølgefronterne vil bevæge sig hurtigere end den nederste, hvorfor lydbølgerne bøjes nedad (figur 4.3).



Figur 4.3 Illustration af lydudstrålingen fra en punktformet lyd giver i en atmosfære, hvor temperaturen vokser med voksende højde over terræn (efter Rudnick, 1957).

Sådanne temperaturinversioner forekommer i stille, klart vejr ofte fra en times tid før solnedgang til en times tid efter solopgang. Når der er temperaturinversion dannes ingen skyggezoner.

inden for et forholdsvis lille frekvensområde.

I forbindelse med beregninger af støjpåvirkningen i byplanmæssige sammenhænge ønsker man normalt i et givet punkt blot at kende det totale lydniveau i dB(A). Dette giver mulighed for at simplificere forholdene noget, og i praksis kan man normalt begrænse sig til at betragte to grænsesituationer, ofte betegnet som situationer med stor, henholdsvis lille terrændæmpning.

Lille terrændæmpning

Med betegnelsen lille terrændæmpning menes den idealiserede situation, at den omtalte interferenseffekt kan negligeres. Det kan man med god tilnærmelse gøre i praksis, når terrænoverfladen er akustisk hård (tilnærmelsesvis totalreflekterende), eller hvis lydkilde og observationspunkt befinder sig langt fra terrænoverfladen. Det er denne situation, der er basis for udledelsen af udtrykket (3.3) for L_{Aeq} i afsnit 3.

Stor terrændæmpning

Når observationspunktet ligger i nogen afstand fra vejen, vil det punkt på terrænet, hvorfra lyden reflekteres til observationspunktet, ligge uden for vejbanen. Ved stor afstand mellem kilde og observationspunkt vil afstandsforskellen mellem den direkte og den reflekterede lyd være lille, men er nu terrænets overflade passende porøs, som fx en græsbevoksning, vil først og fremmest faseforskydningen ved refleksionen (også et bidrag fra absorption i terrænoverfladen) give anledning til en terrændæmpning. Denne er i praksis af størrelsesorden 3 dB(A) pr. afstandsfordobling for observationspunkter i begrænset højde over terræn. Ligger observationspunktet højere over terræn, får terrændæmpningen mindre indflydelse.

Denne virkning kan man tage hensyn til i modelbetragtningerne, og man vil da få et mere kompliceret udtryk for L_{Aeq} end udtrykket (3.3). Der er ikke mulighed for her at gå nærmere ind på dette. Men det er i princippet muligt i en sådan model at indregne en vilkårlig terrændæmpning i dB pr. afstandsfordobling eller dB pr. m efter behag.

I Støj og Byplan, 1971, har man angivet nogle empiriske kurver fra Ingemansson, 1970, som beskriver lydudbredelsen i den situation, der her er benævnt stor terrændæmpning.

helt tæt ved fladen (afstand 0):	3 dB(A)
afstand 0-10 cm	: aftagende
afstand >10 cm	: mindre end 0,5 dB(A)

Forudsætningerne for, at dette er gyldigt ifølge Lindquist, 1972, er:

- at fladen er totalreflekterende
- at støjens spektrum er som vist i figur 2.7
- at fladen rammes af plane lydbølger med samme intensitet fra alle indfaldsvinkler mellem -87° og $+87^{\circ}$ beliggende i en plan vinkelret på fladen.

Det må yderligere være forudsat, at fladen er stor i forhold til lydets bølgelængde.

Disse forudsætninger er ofte med rimelig tilnærmelse opfyldt ved husfacader i nærheden af veje.

I praksis er indfaldsvinklerne ofte beliggende i planer, som ikke er vinkelrette på husfacaden. I sådanne situationer forøges det område foran facaden, hvor interferensen spiller en rolle (hvis den omtalte plans vinkel med vandret er fx 60° , forøges grænseafstanden svarende til $\Delta L_{\text{interferens}} < 0,5 \text{ dB(A)}$ fra ca. 10 cm til ca. 20 cm).

Er facaden delvis lydabsorberende, kan dette bevirke en formindskelse af den omtalte grænseafstand, dels på grund af, at en reflekteret lydbølges lydtrykamplitude er reduceret, og dels på grund af en eventuel faseforsinkelse i den reflekterede lydbølge.

I praksis kan man regne med, at lydniveauet i afstande større end 10-20 cm foran facade kan beregnes ved addition af lydeffekten fra selve lydkilden og bidraget fra dens spejlkilde. Ved totalrefleksion får man altså i nærheden af en facade (hvor afstandene til lydkilde og spejlkilde er nogenlunde ens) en fordobling af lydeffekten svarende til en forøgelse af lydniveauet på 3 dB(A).

Det skal bemærkes, at ved mere smalbåndet støj (fx 1/1- eller 1/3-oktav båndstøj) er forholdene mere komplicerede. Dette er omtalt i blandt andet Lindquist, 1972.

Dette indebærer, at lydniveauet i et observationspunkt

af lydniveauet på altaner og lignende nærmere end 2 m fra facaden.

4.4 Forholdene mellem to parallelle reflekterende flader - lukket gaderum

Hvis lydkilden befinder sig mellem to parallelle, reflekterende flader, vil der finde gentagne refleksioner sted mellem fladerne. Den lyd, som rammer en flade, absorberes delvis. Facaderne består imidlertid i praksis ofte af hårde materialer som fx tegl, beton, puds og glas, hvorfor det meste af lydenergien reflekteres. De gentagne refleksioner vil øge lydniveauet i rummet mellem fladerne i forhold til den situation, som er omtalt i afsnit 4.3. Forholdene minder lidt om den situation, som er illustreret i figur 1.5, blot er der naturligvis normalt ikke "tag" på gaderummet. Lydfeltet kan derfor ikke blive fuldstændig diffust.

Hvis man betragter en idealsituation med to uendelig lange, parallelle flader, kan forholdene behandles ved hjælp af ret enkle geometriske betragtninger, idet man summerer lydeffekterne fra et antal spejlkilder analogt med afsnit 4.3. Dette er fx gjort i Lindquist, 1972.

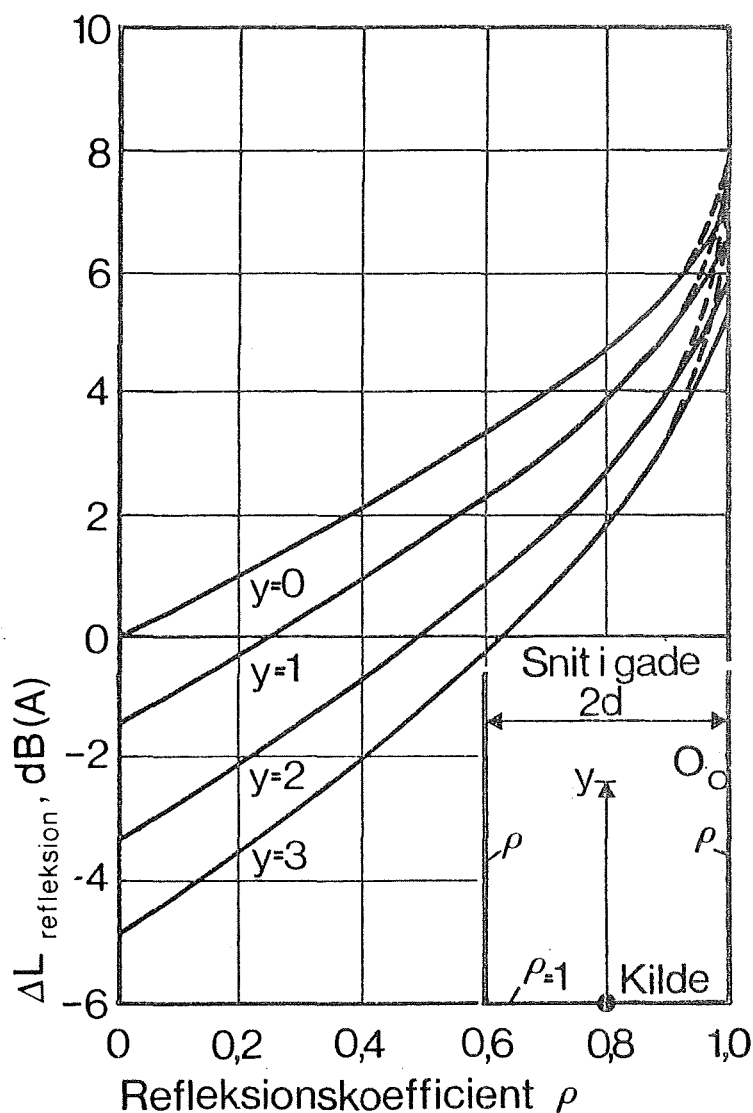
Teoretisk skulle man, hvis refleksionen var total, og der ikke fandt nogen dæmpning sted ved lydens transmission i luft, få et lydniveau, der var uendelig stort. Da imidlertid i praksis en del af lydenergien absorberes af husfacaderne respektive transmitteres gennem dem, og da der sker nogen dæmpning af lydbølgerne ved transmission i luft, får man i et gaderum en lydniveauforøgelse af en endelig størrelse.

Forholdet mellem den reflekterede lydenergi og den indfaldende energi kaldes (energi)refleksionskoefficienten.

Beregningsmodel, uendelig langt gaderum

Lindquist har i 1972 angivet resultater af nogle beregninger udført for nogle, typiske situationer. Nogle af disse skal kort omtales i det følgende. I sin beregningsmodel har Lindquist betragtet et gaderum med uendelig lange facader. Han har set bort fra luftabsorptionen. Dette bevirker som nævnt, at man ved to-

enterne er ens for de to facader, har han optegnet diagrammer, der viser $\Delta L_{\text{refleksion}}$ på facaden som funktion af refleksionskoefficienten ρ . Parameter er observationspunktets højde over gadeplan (udtrykt i enheden: den halve gadebredde, d). Et eksempel på resultater af beregninger for situation A er vist i figur 4.7.



Figur 4.7 Som funktion af facadernes refleksionskoefficient ρ og med observationspunktets højde som parameter er angivet korrektionen $\Delta L_{\text{refleksion}}$ til det beregnede lydniveau i frit felt for de gentagne refleksioner i et lukket gaderum, beregnet for et observationspunkt på facaden. Smal vejbane (efter Lindquist, 1972).
Observationspunktets højde y udtrykt i enheden d . Fuldt optrukne kurver - beregning for 40 spejlkilder. Punkterede kurver - beregning for et stort antal spejlkilder (matematisk fejl $< 0,001$ dB).

En sammenligning af de målte forskelle (1,6 dB(A) i 1,5 m højde og 3,4 dB(A) i 10 m højde) med beregnede værdier viser en kvalitativ overensstemmelse. Lindquist anfører i kommentaren til målingerne, at kvantitative sammenligninger er meningsløse, men at han dog vil gætte på, at den praktiske refleksionskoefficient er mellem 0,5 og 0,8. På basis af andre refererede måleresultater indskrænker han i sammenfatningen dette interval til 0,7 - 0,8.

Dette giver ifølge figur 4.7 værdier af $\Delta L_{\text{refleksion}}$ på facaden på mellem 0 og 5 dB afhængig af observationspunktets højde.

Sammenlagt med den værdi af $\Delta L_{\text{interferens}}$ på 3 dB(A), der ifølge afsnit 4.3 er mellem det beregnede og det virkelige lydniveau, må man altså forvente, at lydniveauet på facaden i et lukket gaderum ($h \leq 3d$) er 3-8 dB(A) højere end det tilsvarende lydniveau i frit felt i højden 0 m over terræn.

Disse betragtninger kan eventuelt suppleres med nogle resultater af målinger, som er angivet i Rücker, 1964. Man har målt (det fremgår ikke nøjagtigt, hvad man har målt, men det er formentlig det maksimale lydniveau) støjen ved et testkøretøjs forbikørsel i ensartede gaderum med forskellige afstande $2 \cdot d$ mellem facaderne (se figur 4.8). Lydniveauet er karakteriseret ved DIN-hørestyrken i DIN-phon^{x)} i afstanden $a_1 = 5$ m (hvor gaderummet var bredt nok til det), på husfacaden (afstand a_3) og midt mellem disse to positioner. At lydniveauet i dB(A) ikke er angivet influerer ikke på disse relative betragtninger, idet alle målte DIN-hørestyrker er større end 60 DIN-phon, og der derfor må være anvendt samme vejningskurve ved alle målinger. Resultaterne er vist i figur 4.8 som middelværdien af den maksimale DIN-hørestyrke ved 3 forbikørsler under de betingelser, som er angivet på figuren. Mikrofonhøjden var 1,25 m.

x) DIN-phon: Mål for en støjs styrke baseret på en frekvensvejning analog med den i afsnit 1.7 omtalte A-vejning. Der anvendes forskellige vejningskurver afhængig af den betragtede lyds styrke. For en nærmere omtale af begrebet DIN-hørestyrke henvises til fx DIN 5045.

grund af facaderefleksioner. I frit felt er udført målinger i 5 m afstand. Den optegnede kurve for frit felt angiver DIN-hørestyrken i frit felt i afstanden a_3 , dvs. svarende til afstanden til facaden under forudsætning af, at lydniveauet reduceres med 6 dB pr. fordobling af afstanden.

Glück beskriver resultaterne nogenlunde som følger:

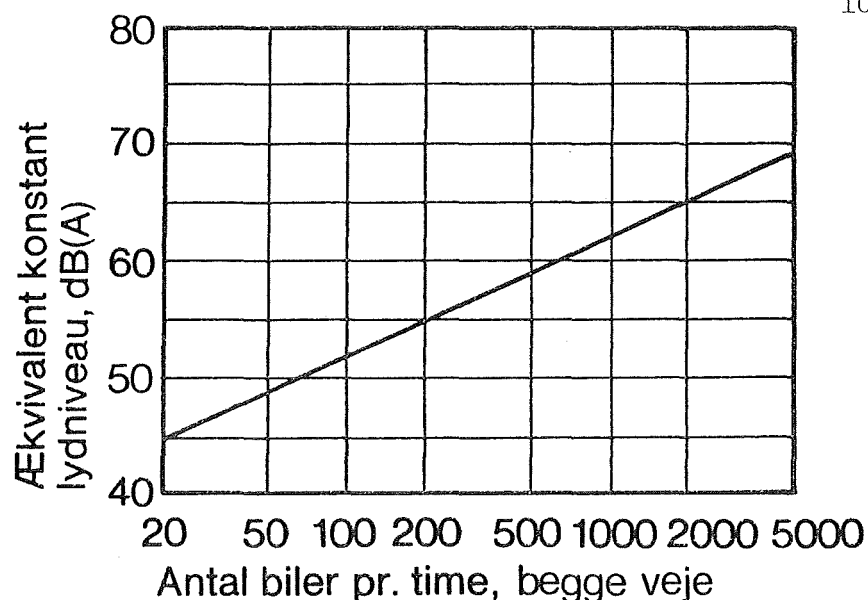
"På facaden aftager DIN-hørestyrken nogenlunde som i frit felt, men den ligger mellem 3 og 6 DIN-phon over niveauet i frit felt; dette skyldes lydrefleksionen ved facaden".

Resultaterne af målingerne på facaden er lidt "mystiske". Ved store afstande mellem facaderne fås en 6 DIN-phon højere værdi end i frit felt. Det er nogenlunde, som man burde forvente, jævnfør tilfældet med en enkelt reflekterende flade, idet refleksionsbidraget fra den modsatte facade bliver ret ubetydeligt på grund af den større afstand til spejlkilden.

I den smalle gade burde man derimod forvente et større tillæg til DIN-hørestyrken i frit felt på grund af de gentagne refleksioner, selvom facaderne ikke er totalt reflekterende. Dette ville alene fra den første spejlkilde give en forøgelse på 6 DIN-phon. Forholdene er som nævnt ikke direkte sammenlignelige med forholdene i Lindquist, 1972, fordi denne behandler en uendelig lang lyd giver, mens vi her nærmest har en punktkilde. Omstændighederne bliver blandt andet ændret af, at lydniveaureduktionen med afstanden er forskellig for de to typer af støj kilder, sådan at spejlkilderne vil give mindre bidrag til lydniveauet i observationspunktet, når vi betragter en punktkilde, hvor lydniveauet jo aftager hurtigst med afstanden.

Man kan kun gætte om årsagerne til, at korrektionerne bliver så små. Følgende faktorer kan trække i denne retning:

- refleksionskoefficienten er mindre end 1
- bilen skærmer mikrofonen delvis for refleksionen fra den modsatte facade
- mikrofonen har måske ikke befundet sig tilstrækkeligt tæt på facaden.



Figur 4.9 Ækvivalent konstant lydniveau 25 m fra vejmidten som funktion af trafikmængden (efter DIN 18005).

forudsætter en lige vej med en jævn, tør asfaltbelægning i god stand og uden stigning. Andelen af tunge køretøjer er 10 %, og det forudsættes, at hastigheden er som i bygader. DIN 18005 angiver korrektioner for andre andele tung trafik, andre vejbelægnings, stigninger, accelerationer ved regulerede vejkryds, og andre hastigheder mv. Det anføres i en note, at man i almindelighed kan simplificere beregningen af lydniveauet i bygader ved blot at addere 5 dB(A) til det lydniveau, man kan bestemme ved hjælp af figur 4.9. Derved kommer man med god tilnærmelse til det lydniveau, som forekommer foran vinduet i bygninger tæt ved vejen. Senere angives det, at man ved dobbeltsidig, ubrudt randbebyggelse skal korrigere med fra 4 til 8 dB(A) - jo større tillæg, jo smallere og snævrere gaderummet er.

I Samhällsplanering, 1972, anføres det, at man i en sædvanlig bygade med relativt høje huse på begge sider får et mere kompliceret refleksionsmønster mellem de to facader, end hvis der kun er en flade. "Dette kræver en særlig beregning", hedder det. Det nævnes, at der kan ske en anselig forøgelse af lydniveauet sammenlignet med lydniveauet uden reflekterende facader.

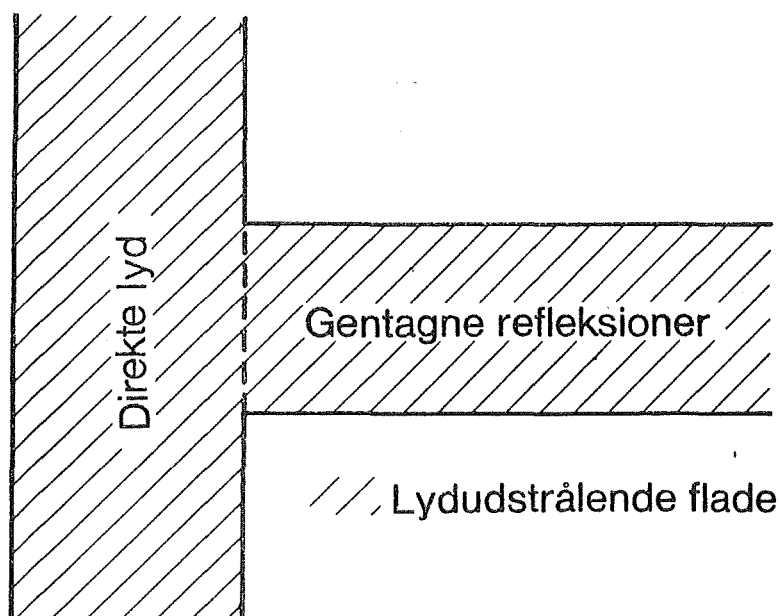
Man angiver (s. 64) en særlig beregningsmetode til brug ved beregning af lydniveauet i indre byområder, idet man gør opmærksom på, at bestemmelsen af lydniveauet er

man, hvis man ikke kender forholdene, kan klare sig med som en tilnærmelse, at addere 2 dB(A) og dermed tage højde for virkningen af en eventuel dobbeltsidig randbebyggelse.

Der er ikke i Samhällsplanering, 1972, givet nogen forklaring på, hvordan korrektionerne i tabel 4.1 er fremkommet. Kihlman har (1971) givet en forklaring, der synes at gå ud på følgende:

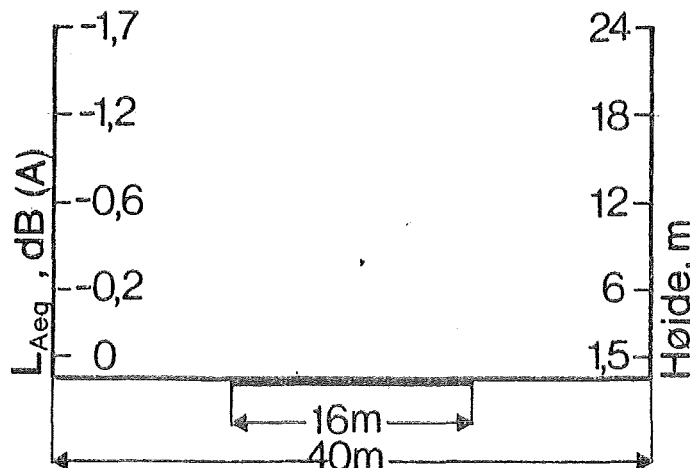
Man ønsker at beregne forøgelsen af det ækvivalente, konstante lydniveau på grund af reflektioner fra bebyggelse på den modsatte side af vejen. Lydkilden (gade-trafikken) betragtes som en overflade, der udstråler en konstant lydenergi pr. fladeenhed. Denne overflade spejles i bygningerne langs med gaden.

Man forudsætter, at sidegaderne "så tar hand om det buller som kommer från avlägsna punkter, att reflektionsbidraget endast utgörs av det som speglas i en byggnad på motsatt sida gatan.". Der henvises derefter til den figur, som her er vist som figur 4.10.



Figur 4.10 Illustration af metode til beregning af korrektion af lydniveauet i et observationspunkt på grund af gentagne refleksioner mellem facaderne i et lukket gaderum (efter Kihlman, 1971).

"Tommelfingerreglen" fra Samhøllsplanering, 1972, er bedst i overensstemmelse med forholdene i det bredeste gaderum på figur 4.11. En sådan tommelfingerregel bör for at våre i overensstemmelse med figur 4.7 og dermed med figur 4.11 angive reduktionen af lydniveauet - ikke pr. etagehojde, men fx pr. gaderumsbredde.



Sammenfatning

Hvis man vil forsoge at sammenfatte indholdet af afsnit 4.4, må man nok sige, at en ret pracis beregning af lydniveauet i et lukket gaderum i princippet skulle våre mulig selv for meget komplicerede geometriske forhold (åbninger i bebyggelsen, sidegader etc.), hvis man blot havde et tilstrekkeligt kendskab til refleksionskoefficienten for forskellige facadekonstruktioner i praksis.

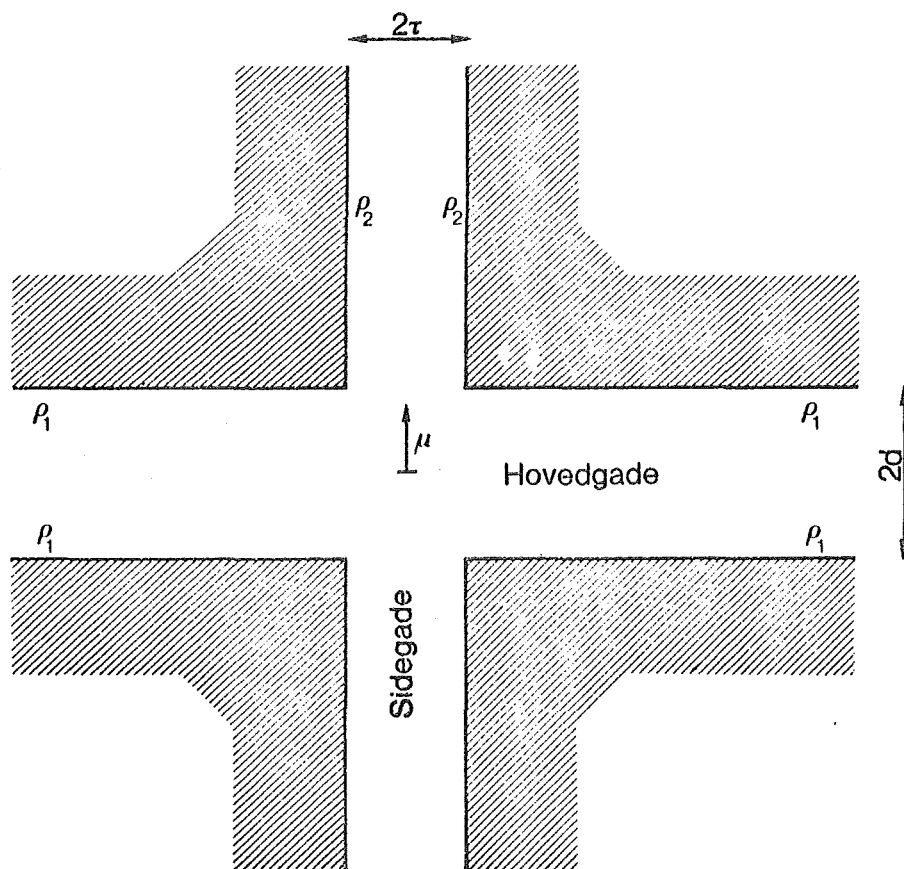
Indtil et mere omfattende erfaringsgrundlag er etableret - og måske i det hele taget i forbindelse med oversigtsmassige byplanovervejelser - må det våre tilstrekkeligt at anvende en enkel, tommelfingerregelbetonet fremgangsmåde i stil med den, der er beskrevet i sammenhang med tabel 4.1.

Man må nok konkludere - med forbehold på grund af betragtningerne i Jonasson, 1973 a, - at lydniveauet på grund af gentagne refleksioner mellem facaderne oges med fra 0 til 5 dB(A) i gaderummet, mere end 0,5 m fra facaderne, afhangig af blandt andet gaderummets bredde og facadernes hårdhed.

På selve facaderne, mindre end ca. 5 cm afstand, skal gives et yderligere tillæg på 3 dB(A).

Indflydelsen fra åbninger i bebyggelsen på lydniveauet i gaderummet kan ligeledes i princippet belyses ved

uden refleksionsbidrag i afstanden d fra hovedgadens midte og i højden 0 m over gadeplanet.



Figur 4.12 Situationsplan med angivelse af facaderefleksionskoefficienter.

Lindquist angiver nogle diagrammer for $\Delta L_{\text{refleksion}}$ på sidegadens facade og midt i gaderummet for nogle bredder af sidegaden. $\Delta L_{\text{refleksion}}$ angives som funktion af refleksionskoefficienten ρ_2 for sidegadens facader. Refleksionskoefficienten ρ_1 for hovedgadens facader og afstanden fra hovedgadens midte er parametre. Et eksempel er vist i figur 4.13.

Ved hjælp af figuren kan man altså for forskellige afstande μ fra midten af hovedgaden, når man kender ρ_1 og ρ_2 , bestemme $\Delta L_{\text{refleksion}}$ på facaden i en sidegade, hvis bredde er det halve af hovedgadens.

Lindquist konkluderer, at refleksionskoefficienten ρ_1 for hovedgadens facader kun har begrænset indflydelse på lydniveauet ved sidegadens facader.

Derimod har refleksionskoefficienten ρ_2 for sidegadens

μ	τ	$\Delta L_{\text{refleksion}}$ på facade dB(A)			$\Delta L_{\text{refleksion}}$ midt i gaderum dB(A)	Lydniveau differens midt i gaderum iflg. diagram- mer	Målt lydniveau- differens midt i gaderum (Lindquist, 1972)
		0,2	0,5	1	0,2	dB(A)	dB(A) ^{x)}
1		1,0	0,8	0,5	4,2		
2		-5,4	-3,0	-2,6	-2,2	6,4	5,0
5		-12,4	-9,4	-8,0	-10,4	8,2	6,7
10		-18,8	-15,4	-13,2	-17,0	6,6	

Tabel 4.2 $\Delta L_{\text{refleksion}}$ ifølge diagrammer i Lindquist, 1972, for udvalgte sidegadebredder τ og udvalgte afstande μ fra midten af hovedgaden og sammenligning mellem beregnede og målte niveaudifferenser. Størrelserne μ og τ måles i halve hovedgadebredder d .

x) 1,5 m over gadeplan, $\mu = \text{ca. } 1; 2 \text{ og } 4$.

Da den praktiske refleksionsfaktor blandt andet er bestemt på basis af dette måleresultat, bør der være overensstemmelse. Det er der da også nogenlunde, når man tager højde for de involverede ubestemtheder og for, at μ i beregningen er 5 og ved målingen er 4. Ved målingen var der i øvrigt ingen reflekterende facade over for sidegaden.

af Lindquists materiale kan man fx betragte det tilfælde, at $\rho_1 = \rho_2 = 0,7$ for forskellige situationer, tabel 4.2 Det ses, at reduktionen af det ækvivalente, konstante lydniveau ved voksende afstand fra midten af hovedgaden er størst for smalle sidegader.

I figur 4.14 er optegnet lydniveauet midt i gaderummet beregnet efter Lindquist, 1972, med lydniveauet i punktet $\mu = 1$ som reference. Endvidere er optegnet resultaterne af en måling refereret i Lindquist, 1972, $\tau = 0,2 d$, $\mu = 1,0 d$, $2,15 d$ og $4,45 d$, dels for L_{Aeq} og dels for L_{10} . Reduktionen af L_{10} med voksende afstand fra midten af hovedgaden er, som man kunne vente, nogenlunde som reduktionen af L_{Aeq} . Beregningen ved hjælp af diagram giver, som det også ses af tabel 4.2, lidt større lydniveaudifferenser end målt.

Reduktionen af L_{10} med voksende afstand fra hovedgaden var ens for de to gader, og for en tredje sidegade, som er "J-formet" (dvs. efter en vinkelret tilslutning til hovedgaden krummer sidegaden næsten 90° , så den kommer til at forløbe næsten parallelt med hovedgaden), konstaterede man praktisk taget den samme sammenhæng mellem L_{10} og afstanden til hovedgaden. I Delany, 1971, tages forbehold for den generelle gyldighed af dette. Man agter at undersøge problematikken i modelforsøg. Man fastlagde den empiriske sammenhæng:

$$L = 34,3 - 26,4 \log (x + 10) \quad (4.2)$$

L er reduktionen af L_{10} i dB(A), og x er afstanden i m fra nærmeste kørebane kant ($5 < x < 200$ m). Afstanden fra gademidten til facadeplanet på hovedgaden var for de tre målesteder vedkommende 22-25 m. Med denne enhed (μ) er resultatet, afbildet i figur 4.14, relativt til lydniveauet i 25 m afstand ($\mu = 1$) fra midten af hovedgaden. Afstandsafhængigheden stemmer helt godt overens med den, som er bestemt ved hjælp af Lindquist, 1972.

Bebyggelsen omkring sidevejene angives i Delany, 1971, at være 2 etagers boliger i blokke á 2-8 boliger og adskilt af 2-3 m brede passager. Et typisk eksempel på bebyggelsesplanen er vist i figur 4.15. Afstanden mellem facaderne er 20-28 m på de tre sidegader.

Måleresultaterne i 4 m højde ligger ca. 1 dB over resultaterne for 1,20 m højde.

Sammenfattende kan man måske tillade sig at konkludere - med forbehold for den begrænsede mængde data - at man ved hjælp af den beregningsmetode, eventuelt anvendelse af diagram, der er beskrevet i Lindquist, 1972, kan foretage en beregning af lydniveauet i et vilkårligt punkt af en sidegade.

For mere overslagsmæssige vurderinger kunne man - efter at have beregnet lydniveauet ved åbningen af sidegaden, i flugt med facadeplanet i hovedgaden, bestemme

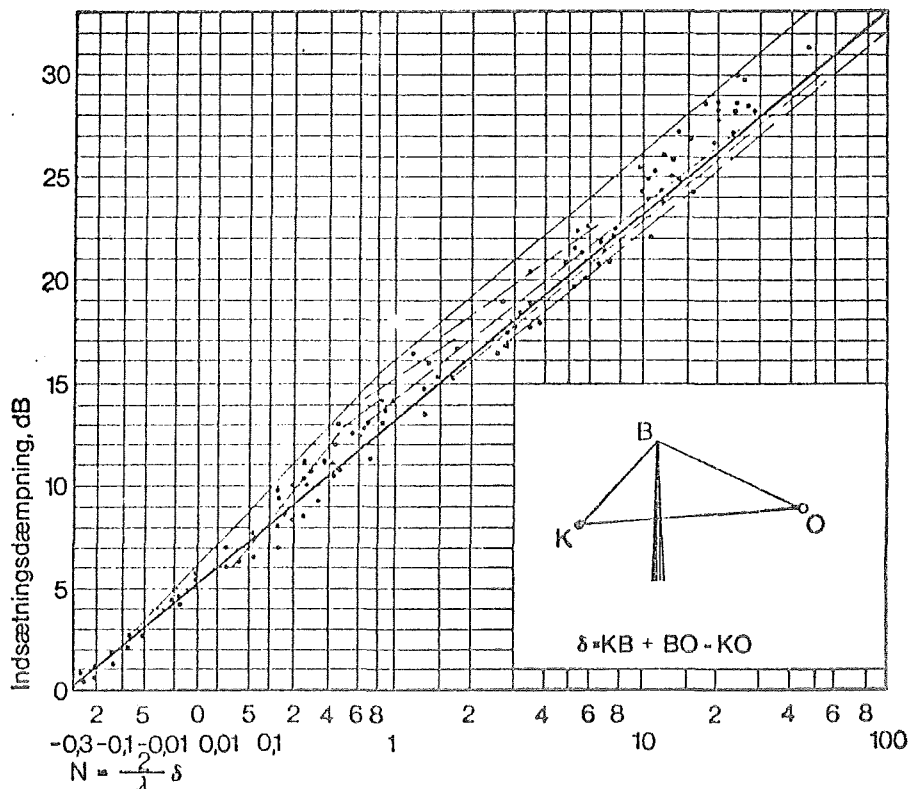
man kan opnå ved anvendelse af skærmning. Også i forbindelse med et eventuelt forsøg på kortlægning af støjpåvirkningen af et område vil man ofte have brug for at bestemme skærminsvirkningen fra egentlige støjskærme, fra bygninger og fra støttemurene ved forsænkede veje.

Skærmende genstandes dæmpningsvirkning over for lyd beror på, at lydbølgernes direkte vej fra lydkilde til observationspunkt bliver afbrudt. Skærmvirkningen er afhængig af den skærmende genstands dimensioner i forhold til lydens bølgelængde. Ofte anvender man en analogibetragtning for at illustrere forholdene, idet man sammenligner med lysets udbredelse. En skærm standser lysstrålerne, og der dannes en præcist afgrænset skyggezone bag skærmen. Lysets bølgelængde er af størrelsesordenen $5 \cdot 10^{-7}$ m - altså meget mindre end dimensionerne af en skærm. Bølgelængden af den lyd, man interesserer sig for i trafikstøjsammenhæng (fx 100-4000 Hz) er 3,4 - 0,08 m, altså for de lave frekvenser af samme størrelsesorden som dimensionerne af skærme, bygninger og lignende. Dette er baggrunden for, at lyden afbøjes (diffrakteres) rundt om den skærmende genstands kanter, og at egentlig "lydskygge" sjældent forekommer. Skærmdæmpningen er frekvensafhængig, idet lydbølger med stor bølgelængde lettere afbøjes end lydbølger med lille bølgelængde.

Der findes en meget omfattende litteratur om skærmning. Det ligger uden for rammerne af denne publikation at foretage en systematisk gennemgang af emnet. Dog vil det nok være rimeligt at anføre nogle generelle betragtninger.

I litteraturen findes emnet belyst ud fra diffraktions-teoretiske overvejelser, fra modelforsøg eller ud fra empiriske undersøgelser i fuldskala. I forbindelse med anvendelse af de resultater, der er tilgængelige, er det vigtigt at gøre sig klart, under hvilke forudsætninger resultaterne er opnået. Det er således blandt andet af betydning for størrelsen af skærmdæmpningen:

- om man betragter en punktformet lyd giver, en linjelydgiver eller en række ukorrelerede punktkilder,
- om man betragter lydudbredelsen i frit felt eller over en mere eller mindre lydabsorberende flade,

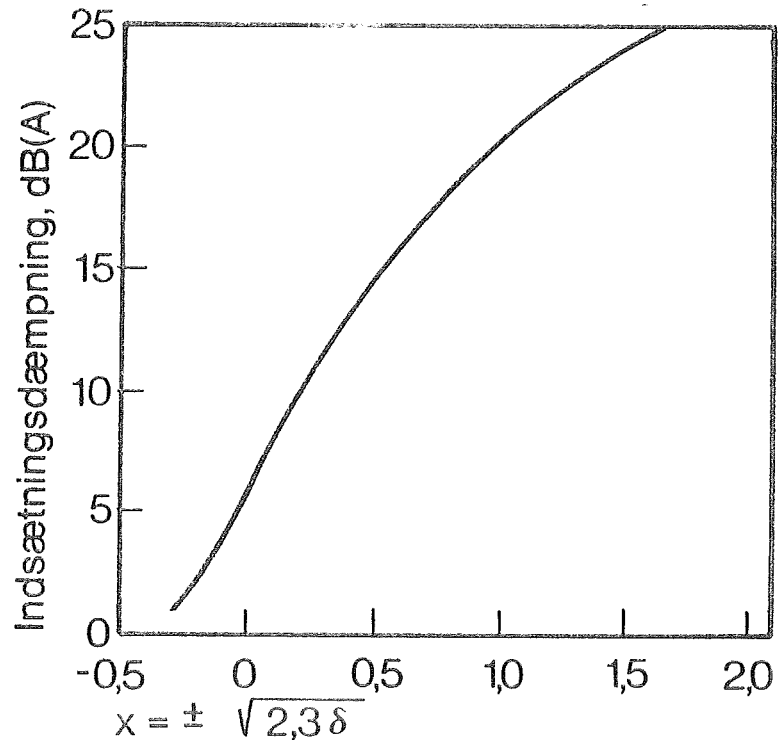


Figur 4.17 Indsætningsdæmpning som funktion af fresneltallet N for en halvuendelig stor og uendelig tynd skærm ved lydudbredelse fra en punktformet lyd giver i et frit felt (efter Maekawa, 1968).

de for, om skærmen var akustisk hård eller absorberende. Jonasson angiver videre, at forskellen mellem en hård og en absorberende skærms dæmpningsvirkning normalt er mindre end 1 dB med de konfigurationer, vi har at gøre med i forbindelse med trafikstøj (der er her tale om en tynd skærm). Dette skyldes delvis, at det i praksis er vanskeligt at konstruere en fuldstændig lydabsorberende skærm.

Jonasson, 1973 a, har angivet indsætningsdæmpningen for en skærm i frit felt, når lydkilden er punktformet, figur 4.18.

Skærmdæmpningen er angivet som funktion af diffraktionsparameteren x , som med de betegnelser, der er angivet her, er $x = \pm \sqrt{k\delta} = \pm \sqrt{\frac{2\pi d}{\lambda}} = \pm \sqrt{\pi N}$, idet bølgetallet $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Fortegnet + skal anvendes, når observationspunktet ligger under sigtelinjen fra kilde til skærmkant og ÷ skal anvendes, når observationspunktet ligger over sigtelinjen. Den anførte parameter er for $h_e \ll KC, CO$, figur 4.16, identisk med den ofte anvend-



Figur 4.19 Indsætningsdæmpning i dB(A) som funktion af diffraktionsparameteren $x = \pm\sqrt{2,3\delta}$. Uendelig lang, tynd skærm. Punktkilde, vejtrafikstøj, frit felt (efter Jonasson, 1973b).

kilden er en række ukorrelerede punktkilder (en vej), og når udbredelsen sker over et terræn.

Skærmvirkning ved lydudbredelse over terræn

Her betragtes kun forholdene ved udbredelse over en stærkt reflekterende terrænoverflade, da det er den almindeligst forekommende situation i bymiljøer. Er forholdene sådan, at denne forudsætning ikke er opfyldt, må beregningerne udføres ved hjælp af en egnet beregningsmodel - fx de modeller, som er nævnt i afsnittet om indsætningsdæmpning.

Generelt kan lyden fra en lydkilde via en skærm til et observationspunkt transmitteres ad 4 transmissionsveje, jævnfør figur 4.20. I princippet burde bidragene til lydtrykket i modtagerpunktet fra hver transmissionsvej beregnes svarende til fritfelttilfældet og adderes med tilbørlig hensyntagen til faseforholdene i lydtrykvariationerne, jævnfør omtalen af interferens i afsnit 4.2-4.3.

Månsimplificerer forholdene betydeligt ved at foretage den tilnærmelse at betragte lydkilden som beliggende i terrænhøjde, figur 4.20 - i lighed med, hvad der er

Dette indebærer, at skærmdæmpningen bliver mindre end dæmpningen i frit felt, og at forskellen vil være mellem 0 og 6 dB.

I denne sammenhæng er det primært af interesse at beregne lydniveauer i dB(A) i en vis højde, fx mere end 1 m over terræn. Ud fra de betragtninger, der findes i afsnit 4.3, kan bidragene fra de to transmissionsveje betragtes som ukorrelerede og lydeffekterne kan adderes uden at den begåede fejl bliver urimelig stor. I stor afstand bag en skærm vil interferenseffekter dog gøre sig gældende i større højder over terræn end de afstande, der er omtalt i afsnit 4.3.

Fremgangsmåden ved beregning kan illustreres på følgende måde:

Med en punktformet lydkilde af given styrke fås uden skærm i observationspunktet et lydniveau $L_{A,u}$. Skærmen tænkes herefter anbragt, og terrænoverfladen på skærmens bagside tænkes fjernet. Herefter beregnes skærmens indsætningsdæmpning i frit felt ΔL_s i observationspunktet og $\Delta L'_s$ i observationspunktets spejlbillede. Lydniveauet med skærm bliver da i de to punkter henholdsvis $L_{A,u} \div \Delta L_s$ og $L_{A,u} \div \Delta L'_s$. Det resulterende lydniveau $L_{A,o}$ i observationspunktet med skærm beregnes ved addition af disse to bidrag.

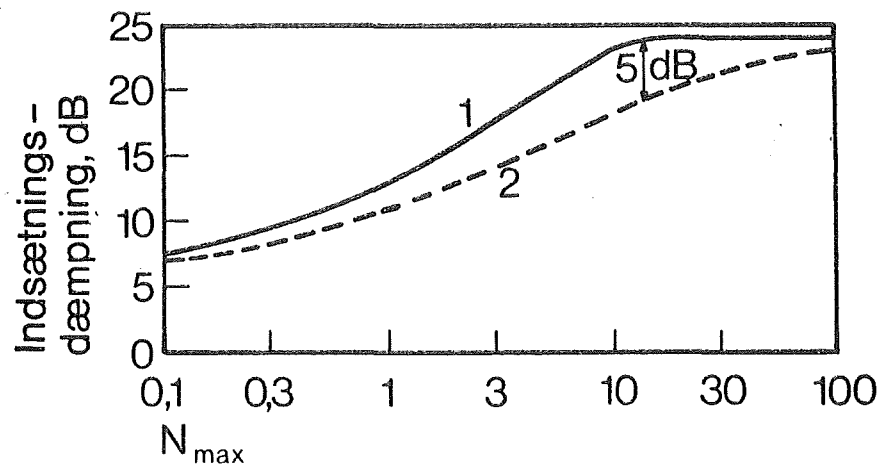
$$\begin{aligned} L_{A,o} &= 10 \log \left(10^{\frac{(L_{A,u} \div \Delta L_s)}{10}} + 10^{\frac{(L_{A,u} \div \Delta L'_s)}{10}} \right) \\ &= L_{A,u} + 10 \log \left(10^{\frac{\Delta L_s}{10}} + 10^{\frac{\Delta L'_s}{10}} \right) = L_{A,u} \\ &\quad \div \Delta L_s^{\text{res}} \end{aligned} \quad (4.3)$$

ΔL_s^{res} er skærmens indsætningsdæmpning i det betragtede observationspunkt.

Additionen kan eventuelt udføres ved hjælp af tabel 4.3. Man beregner $\Delta L'_s - \Delta L_s$ i dB og reducerer ΔL_s med det bidrag, der er anført i tabellen:

strækninger, ses det, at indsætningsdæmpningen for en skærm bliver mindre end den indsætningsdæmpning, man får, når man betragter en enkelt punktkilde. Delany, 1972 a, angiver, at forskellen ved et modelforsøg var op til 5 dB(A).

Kurze, 1971, har foretaget en integration af bidragene fra en uendelig lang række af ukorrelerede punktkilder, idet der som indsætningsdæmpning for en punktkilde blev anvendt de dæmpninger, som er angivet af Rathe, 1969. Resultatet er vist i figur 4.22, hvor parameteren er $N_{\max} = \frac{2\delta_{\max}}{\lambda} \cdot \delta_{\max}$ er afstandsforskellen δ fra figur 4.16 i en lodret plan gennem observationspunktet vinkelret på skærmen.



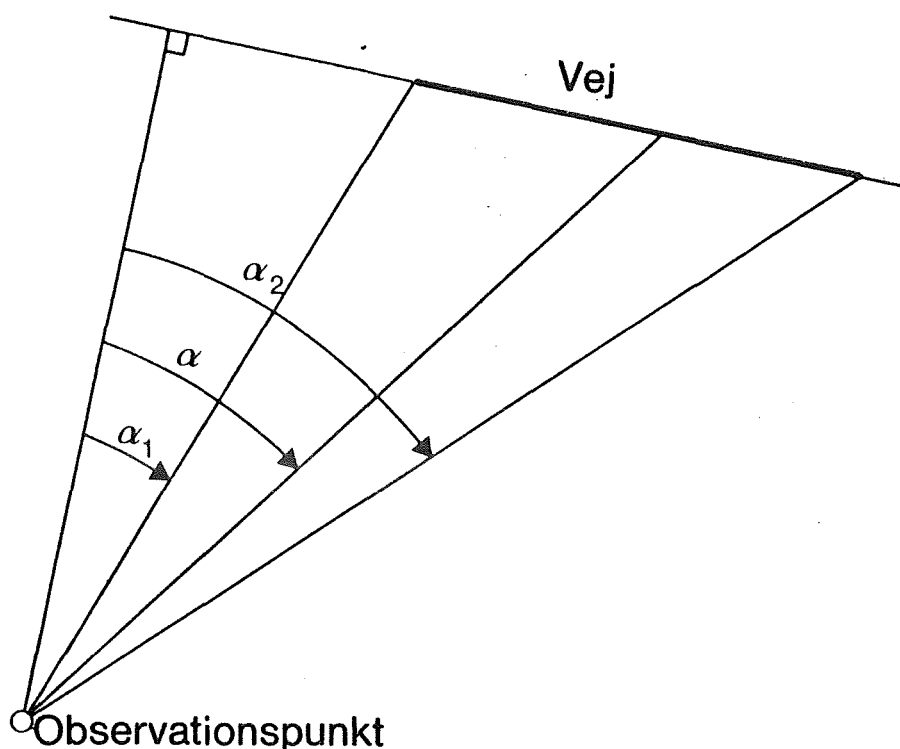
Figur 4.22 Indsætningsdæmpning som funktion af N_{\max} for henholdsvis 1: en enkelt punktkilde (Rathes data) og 2: en række ukorrelerede punktkilder (Kurze, 1971).

Rathes data, som også er vist i figur 4.22, svarer nogenlunde til Mækawas, figur 4.17, idet han dog begrænser sig til at betragte situationer, hvor $N_{\max} > 0$. Endvidere indfører Rathe en øvre grænse på 24 dB, som den maksimalt opnåelige indsætningsdæmpning i praksis. Med de anvendte forudsætninger bliver forskellen på indsætningsdæmpningen for henholdsvis en enkelt punktkilde og en række ukorrelerede punktkilder op til 5 dB.

Koyasu, 1973, har ved modelforsøg bestemt en dæmpningskurve, der svarer nogenlunde til den beregnede fra figur 4.22.

Delany, 1972 b, har foretaget en tilsvarende beregning

jen. Ved beregning af lydniveauet i et observationspunkt, kan man derfor opdele vejen i delstrækninger og beregne bidraget fra hver delstrækning separat.



Figur 4.24 Skitse af delstrækning af en vej.

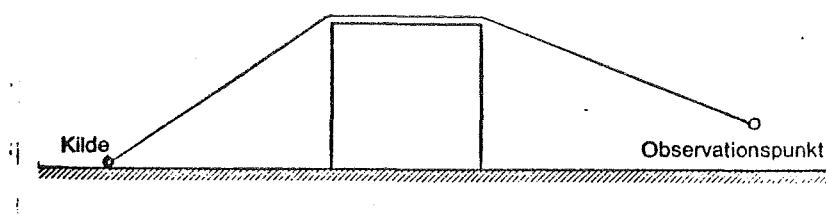
Situationen er illustreret i figur 4.24. Jonasson, 1973 b, har vist, at man med god tilnærmelse kan beregne indsætningsdæmpningen for en skærm, der dækker vinkelområdet fra α_1 til α_2 ved at udføre beregningen for vinklen α , som kan sættes til $\alpha = \alpha_1 + 2/3 (\alpha_2 - \alpha_1)$. Fortegnet for α må vælges, så at $\alpha_1 \geq 0$ og $\alpha_2 > \alpha_1$. Hvis skærmen strækker sig hen over normalen til vejen, må foretages en separat beregning for de to dele af vejen, som ligger på hver side af normalen. Indsætningsdæmpningen i frit felt bestemmes ved hjælp af figur 4.19, idet man anvender diffraktionsparameteren $x_\alpha = x_0 \sqrt{\cos \alpha}$, hvor x_0 er diffraktionsparameteren for 125 Hz og $\alpha = 0$, dvs. $x_0 = \pm \sqrt{2.3 \cdot \delta_{\max}}$.

For at sammenligne de resultater, man får ved beregning efter denne fremgangsmåde med de resultater, som er angivet i figur 4.23, er for specialtilfældet uendelig lang skærm ($\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$, $\alpha = \frac{\pi}{3}$), beregnet nogle sammenhørende værdier af δ_{\max} og x_α , og indsætnings-

stemmelse med den forskel, der kan konstateres i figur 4.25. Endvidere kan en mindre del af afvigelsen eventuelt skyldes, at der er anvendt forskellige trafikstøjspektre ved beregningen af dæmpningen i dB(A).

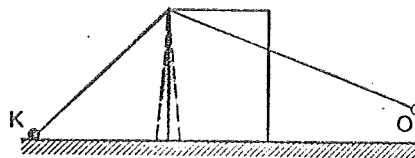
Skærme med endelig tykkelse

De hidtil anførte betragtninger er i princippet kun gyldige for en uendelig tynd skærm. I praksis forekommer ofte situationer, hvor den skærmende konstruktion har en anden geometrisk form. Hvis man som eksempel betragter en bygning, figur 4.26, hvis bredde er stor i forhold til lydens bølgelængde, ses det, at lyden diffrakteres to gange under transmissionen. Dette betyder, at dæmpningen bliver større end ved en enkelt diffraktion. Forskellen kan blive op til 6 dB. Dobbeldiffraktionens virkning vil dog reduceres på grund af refleksion fra tagfladen, således at forskellen normalt vil være uden betydning i praksis (Jonasson, 1973 b). Derfor skal mulighederne for at beregne dæmpningen ved dobbeldiffraktion ikke behandles her.



Figur 4.26 Skærm med endelig tykkelse.

Delany, 1972 a, har belyst forholdene eksperimentelt i modelforsøg for en enkelt konfiguration af vej og skærm og blandt andet fundet de resultater, som er vist i figur 4.27. Skærmens højde er den samme for alle typer. Jordvolden gav 2-3 dB(A) mindre dæmpning og huset med hældning på tagfladen 3-4 dB(A) mindre dæmpning end den tynde skærm, på grund af refleksion fra de skrå flader. Derimod gav den "rektangulære" skærm en dæmpning, der var op til 4 dB(A) større end for den tynde skærm. Maekawa, 1968, har foreslået, at man tager hensyn til denne effekt ved at regne med, hvad man kunne kalde en "ækvivalent" tynd skærm som vist i figur 4.28.



Figur 4.29 Fiktiv tynd skærms placering som beregningsmæssig kompensation for den "tykke" skærms dæmpningsvirkning.

at understrege, at beregninger af den art, som behandles her, er baseret på en række tilnærmelser, hvilket bevirker, at en meget nøjagtig beregning ikke er berettiget.

Forsænkede veje - refleksion fra bygninger og lignende

Veje er ofte forsænket i forhold til det omliggende terræn. I tætte byområder vil forsænkningens begrænsninger normalt være stejle støttemure, hvorimod man uden for egentlige byområder normalt vil vælge at lade skrænterne stå med en naturlig hældning. I begge situationer vil den af forsænkningens begrænsninger, der ligger nærmest observationspunktet, virke som en skærm.

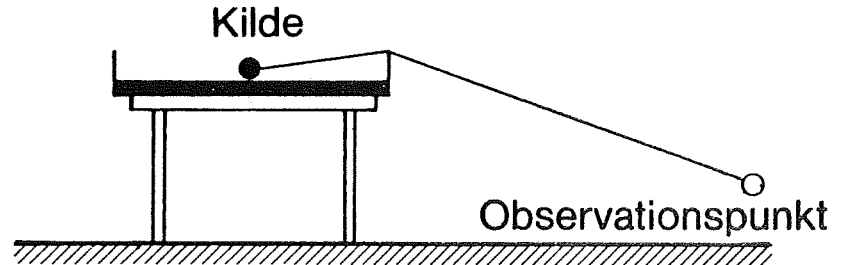
Forsænkede veje med stejle støttemure

Er støttemurene lodrette og ikke fuldstændig lydabsorberende, vil lyden efter gentagne refleksioner mellem støttemurene reflekteres ind i skærmens skyggezone, og derved vil skærmvirkningen reduceres. En beregning af skærmdæmpningen vil i princippet kunne foretages ved en separat beregning af bidragene til lydniveauet i observationspunktet fra et antal spejllydkilder og efterfølgende addition af disse bidrag. Det er vanskeligt at angive generelle retningslinjer for, hvor mange spejlkilder man bør medtage, idet det blandt andet afhænger af støttemurenes absorptionsevne. Beregningerne kan blive ret tidskrævende, idet man ved detaljerede beregninger i princippet må foretage en separat beregning for hver vognbane.

Har støttemurene en vis hældning, vil lydenergien reflekteres opad. Delany har (1972 a) ud fra resultater af modelforsøg og geometriske betragtninger, se figur 4.30, tentativt angivet en hældning på $10-20^\circ$ med lodret som optimal. Med reflekterende støttemure opnåedes

Vejje - hævet i forhold til det omliggende terræn

Er en vej hævet over det omliggende terræn, vil vejbanen, et eventuelt massivt autoværn eller lignende virke som skærm (figur 4.31). Skærmdæmpningen kan beregnes som tidligere angivet.



Figur 4.31 Illustration af skærmvirkning for veje der er hævet over det omliggende terræn.

Nødvendig vægt og længde af en skærm

Det er naturligvis en forudsætning for alt det foregående, at den lydenergi, der transmitteres gennem en skærm, er forsvindende i forhold til den lydenergi, der ved diffraktion transmitteres omkring skærnkanten. Dette forudsætter dels, at skærmen er tæt og dels, at den har en tilstrækkelig vægt, således at dens reduktions-tal bliver passende stort. Hvor stort, det behøver at være, afhænger naturligvis af, hvor høj skærmen er. Kurze, 1971, angiver på basis af beregninger for frekvensen 500 Hz for skærme, der giver den i praksis maksimalt opnåelige skærmning, se næste afsnit, en nødvendig vægt svarende til 70 kg/m^2 , og for normale skærme (med $\delta_{\text{max}} < 2,5 \text{ m}$) en nødvendig masse svarende til 20 kg/m^2 . Jonasson, 1973 a, angiver for henholdsvis en lav og en høj skærm en nødvendig vægt på 10 og 20 kg/m^2 .

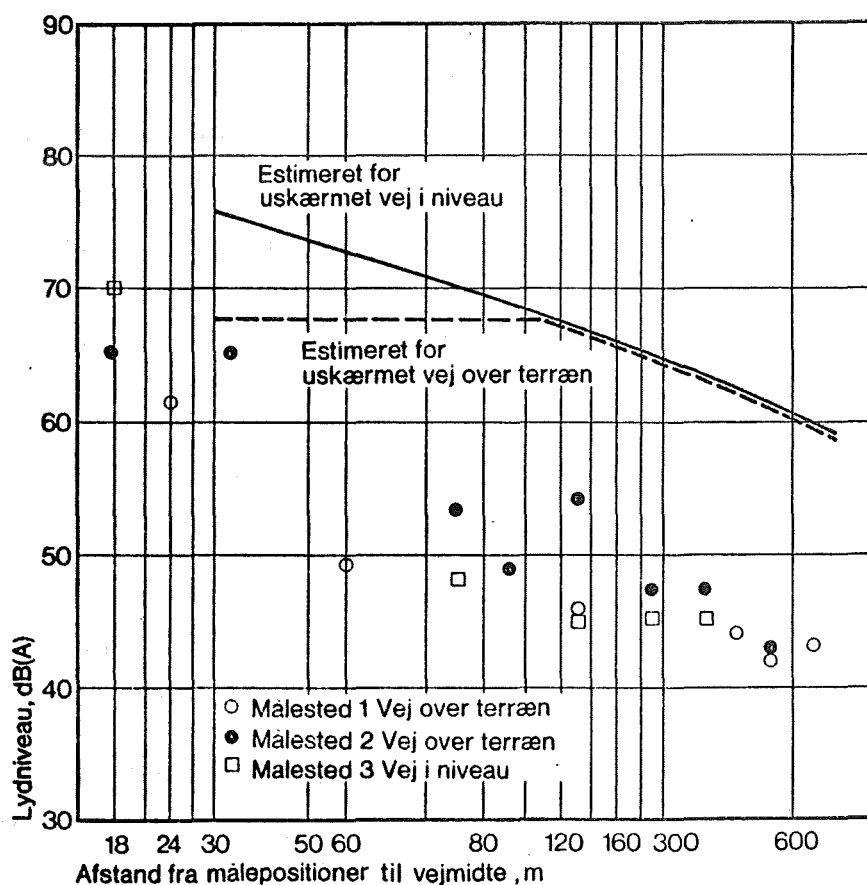
Den nødvendige længde af en skærm må bestemmes i det konkrete tilfælde. Et rimeligt kriterium kan for eksempel være, at lydudsendelsen fra den del af en vej, som ikke er skærmet, ikke må øge lydniveauet i de punkter, man ønsker skærmet med mere end 1 dB(A).

Indflydelse fra meteorologiske forhold

I det foregående er overalt set bort fra de meteorologiske forholds indflydelse. Ud over den generelle ind-

punkter langs tre linjer vinkelret på en vej (indtil 600 m afstand). Alle målepositioner - bortset fra den nærmeste på hver linje (ca. 30 m fra vejen) - var visuelt afskærmet fra vejen. Denne lå i de to tilfælde ca. 6 m over det omliggende terræn, mens den i det tredje tilfælde var i niveau.

Resultaterne er vist i figur 4.32 sammen med nogle estimerede lyd niveauer i frit felt med hævet gade respektiv gade i niveau.



Figur 4.32 Lydniveauet målt i et boligområde i forskellige afstande fra vejmidten (efter Noise, 1967).

Rapporten konkluderer, at lydniveaureduktionen er ca. 3 dB(A) pr. fordobling af afstanden både i frit felt og ved udbredelsen gennem bebyggelsen, at bygningernes tilstedeværelse bevirker en lydniveaureduktion på 10-20 dB(A), at denne forskel findes nogenlunde uafhængig af afstanden fra vejen, at det første skærmende element med andre ord er mest effektivt, idet det giver den omtalte lydniveaureduktion, når lydkilden er visuelt afskærmet og at de efterfølgende bygninger ikke giver no-

fra observationspunktet vinkelret på vejen. v blev sat til 140° . En bolig blev betragtet som skærmet, hvis et punkt i højde med boligens tag var visuelt afskærmet fra vejen. Hvis vejen var skærmet inden for hele vinklen v , blev reduktionen af lydniveauet sat til 9 dB(A). Hvis kun en del af vinklen var skærmet, blev den skærmede del af vinklen bestemt i enheden $\frac{v}{10}$ og reduktionen af lydniveauet blev beregnet under forudsætning af, at lydenergi bidraget fra den skærmede del blev formindsket med 9 dB(A). De korrektioner, som blev anvendt, er gengivet neden for i tabel 4.4.

Skærmet vinkel	Reduktion af støj dB(A)	Skærmet vinkel	Reduktion af støj dB(A)
0 x $v/10$	0	6 x $v/10$	4,0
1	0,9	7	4,8
2	1,3	8	5,8
3	1,8	9	7,1
4	2,4	10	9,0
5	3,0		

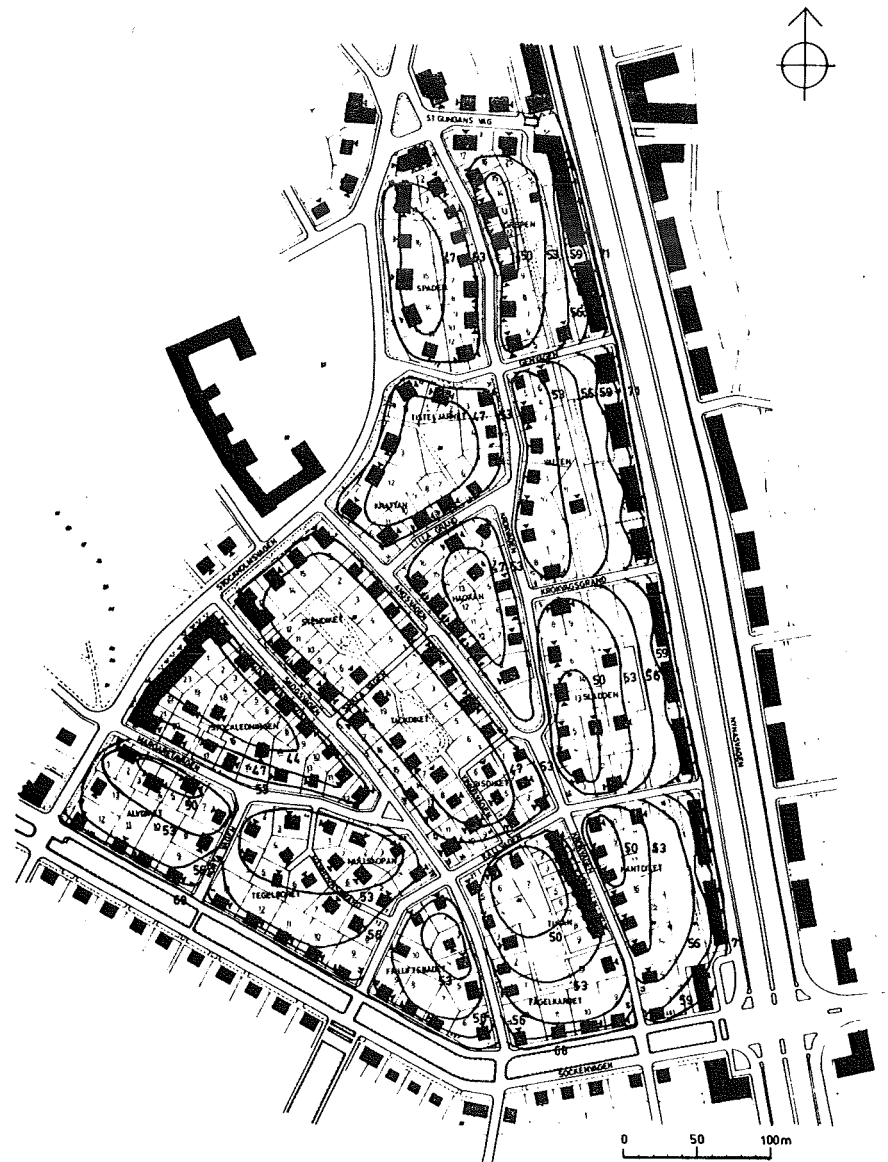
Tabel 4.4 Reduktion af lydniveauet ved partiel skærmning (efter Trafikbuller, 1968).

For hver bidragende vejstrækning blev det ækvivalente konstante lydniveau i observationspunktet beregnet og delbidragene blev adderet.

For et etageboligområde, figur 4.33, har man forsøgt at sammenligne resultaterne af beregninger og målinger og fundet god overensstemmelse. De målte ækvivalente konstante lydniveauer L_{Aeq} blev bestemt for perioden kl. 09 - 20 på basis af 1-3 målinger, hver af 45 minutters varighed, på forskellige tidspunkter. Beregningen af L_{Aeq} blev foretaget ud fra kendskab til den aktuelle trafikmængde inden for de 12 timer fra kl. ca. 09 til kl. ca. 21, hvor målingerne blev udført.

Man konstaterer i Trafikbuller, 1968, at den opstillede metode til beregning af skærmvirkning syntes at give for små skærmninger i de tilfælde, hvor måle-/bereg-

I et andet eksempel, figur 4.34, giver den anvendte skærpningsantagelse ifølge Trafikbullen, 1968, for høje værdier - formentlig af lydniveauet. Forskellen mellem beregnede og målte værdier er 5-10 dB(A). Bebyggelsen er enfamilieshuse. Langs Nynäsvägen, som er noget nedskåret, ligger en række to etagers huse. Terrænet falder mod vest, hvilket betyder, at de omtalte huse danner en slags højderyg mellem vejen og det øvrige boligområde.

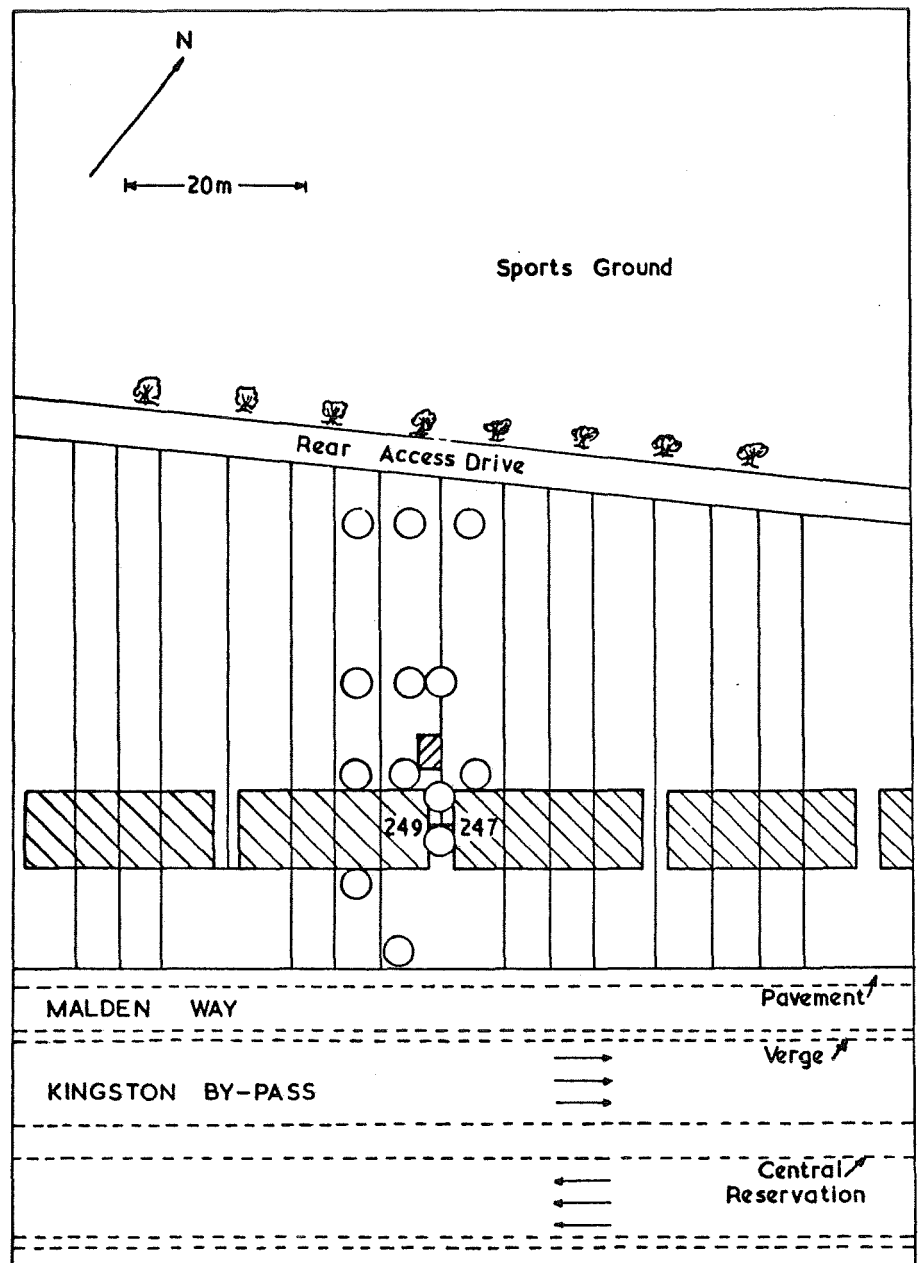


Figur 4.34 Eksempel på beskrivelse af lydudbredelsesforholdene i et parcelhus - område: Enskede, Stockholm. De viste kurver beskriver ækvivalente konstante lydniveauer for måleperioden bestemt ud fra resultater af målinger udført i perioden kl. ca. 09 - 20 (efter Trafikbullen, 1968).

Man anfører, at kombinationen af tætliggende enfamilieshuse og haver med tæt beplantning bevirker en hurtig dæmpning af støjen fra trafikken på Sockenvägen, sådan

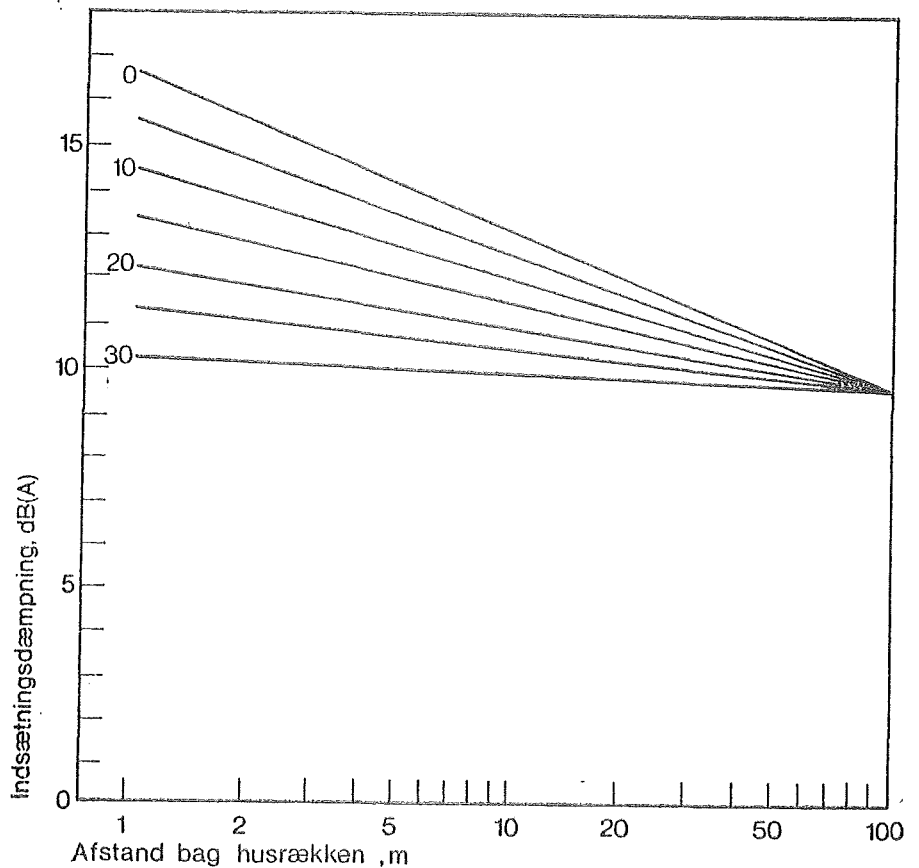
Hovedkonklusionen i Trafikbuller, 1968, er, at de opstillede beregningsregler synes at give et billede af lydudbredelsesforholdene i delvis skærmede områder, som er tilstrækkelig godt til planlægningsformål, selv om fortsatte studier af emnet er nødvendige. Den lokale støj i boligområderne, dvs. den støj som ikke frembringes af trafikken i eller uden for området, mener man derimod ikke, at der er mulighed for at beskrive beregningsmæssigt.

Delany m.fl., 1971, har målt skærmvirkningen af toetagers huse, som ligger parallelt med en vej. Resultaterne baserer sig på et stort antal målinger på hvert af 5 steder, hvoraf et typisk eksempel er vist i figur 4.36.



Figur 4.36 Eksempel på situationsplan for de målesteder, der er omtalt i Delany, 1971. De markerede punkter er mikrofonpositioner.

på grund af refleksioner.



Figur 4.38 Indsætningsdæmpningen for en række to etagers huse som funktion af afstanden bag husrækken. Husrækken ligger parallelt med en vej, ca. 25-30 m fra vejmidten. Parameter: % åbent areal i facaden (efter Delany, 1971).

I Rücker, 1964, findes nogle figurer - såkaldte isophon-planer - der for forskellige situationsplaner viser kurver gennem punkter, hvori det maksimale lydniveau ved et køretøjs passage har samme værdi. Figurerne, som findes gengivet både i Ingemansson, 1970, og i Kihlman, 1971, er eksempler på, hvordan lydudbredelsen kan være i konkrete bebyggelser, mens det er vanskeligt at generalisere resultaterne.

Lydudbredelsesforholdene i områder med spredt bebyggelse er vanskelige at beskrive. I almindelighed vil man, hvis man ønsker at bestemme lydniveauet i et observationspunkt, være henvist til mere eller mindre skønsmæssige angivelser. En egentlig beregning vil i bedste fald være meget kompliceret, og på det foreliggende grundlag nok i almindelighed ikke berettiget.

det totale facadeareal, bliver den resulterende lydiso-
lation nemlig i så fald kun ca. 1 dB dårligere end vin-
duets. Man må naturligvis sikre sig, at den øvrige fa-
cade er tilstrækkelig godt lydisolerende, førend man
bestemmer sig for at bruge specielt lydisolerende vin-
dueskonstruktioner.

I det følgende betragtes udelukkende lydtransmissionen
gennem vinduer.

For at vurdere, hvor effektivt forskellige typer af
vinduer isolerer mod indtrængende lyd, må man sammen-
ligne den lyd, man i en given situation får ind i det
betragtede rum - med forskellige typer af vinduer. Man
må i princippet sammenligne lydets styrke, dens fluk-
tuationer og dens frekvenssammensætning. Det er tidli-
gere omtalt, at det er hensigtsmæssigt at betragte det
ækvivalente konstante lydniveau i dB(A). For at sammen-
ligne forskellige vinduers lydisolerende egenskaber,
kan man altså for en række typiske situationer sammen-
ligne det ækvivalente konstante lydniveau indendørs i
afhængighed af vinduestypen, eller forskellen mellem
det ækvivalente konstante lydniveau i dB(A) ude - i en
referenceposition - og inde. Denne størrelse kaldes i
Ljunggren, 1972, for den "subjektivt oplevede" isola-
tion, subjective insulation.

Reduktionstal - generelt

En bygningskonstruktions lydisolerende egenskaber ka-
rakteriseres ofte ved dens reduktionstal defineret ved

$$R = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

hvor P_1 er den lydeffekt, der stråles ind på bygnings-
konstruktionen, og P_2 er den lydeffekt, som udstråles
fra dens anden side.

Reduktionstallet for en given bygningskonstruktion er
primært afhængig af frekvensen af den betragtede lyd
og af den vinkel, hvorunder lydbølgerne falder ind på
konstruktionen. Ofte beregnes middelværdien R_M for et
vist frekvensområde. I det nærmest følgende betragtes
forholdene ved en given frekvens.

soner, som opholder sig forskellige steder i det betragtede rum.

Fordelene ved at udføre målinger under laboratorieforhold er dels, at målingerne er lette at udføre, og dels at målebetingelserne er under bedre kontrol end under feltforhold, hvilket letter en eventuel sammenligning af resultater fra forskellige målinger. Det er imidlertid naturligt at anvende den viden, man kan indsamle ved laboratoriemålinger til tilrettelæggelse af feltmålinger med det formål at få verificeret de konklusioner, man kan drage af laboratorieresultaterne.

Målinger i felten kan naturligvis også være nødvendige ved en efterprøvning af, om eventuelle krav til facadekonstruktioner - fx opstillet ved projektering af et byggeri - overholdes i den færdige bygning.

Reduktionstal i laboratoriet

Ved laboratoriemåling af reduktionstal bestemmes dette som (DS/ISO 140/III, 1978)

$$R = L_S - L_M - 10 \log \frac{A}{S} \quad (4.4)$$

Heri er R = reduktionstallet

L_S = middelværdien af lydtrykniveauet i senderummet,

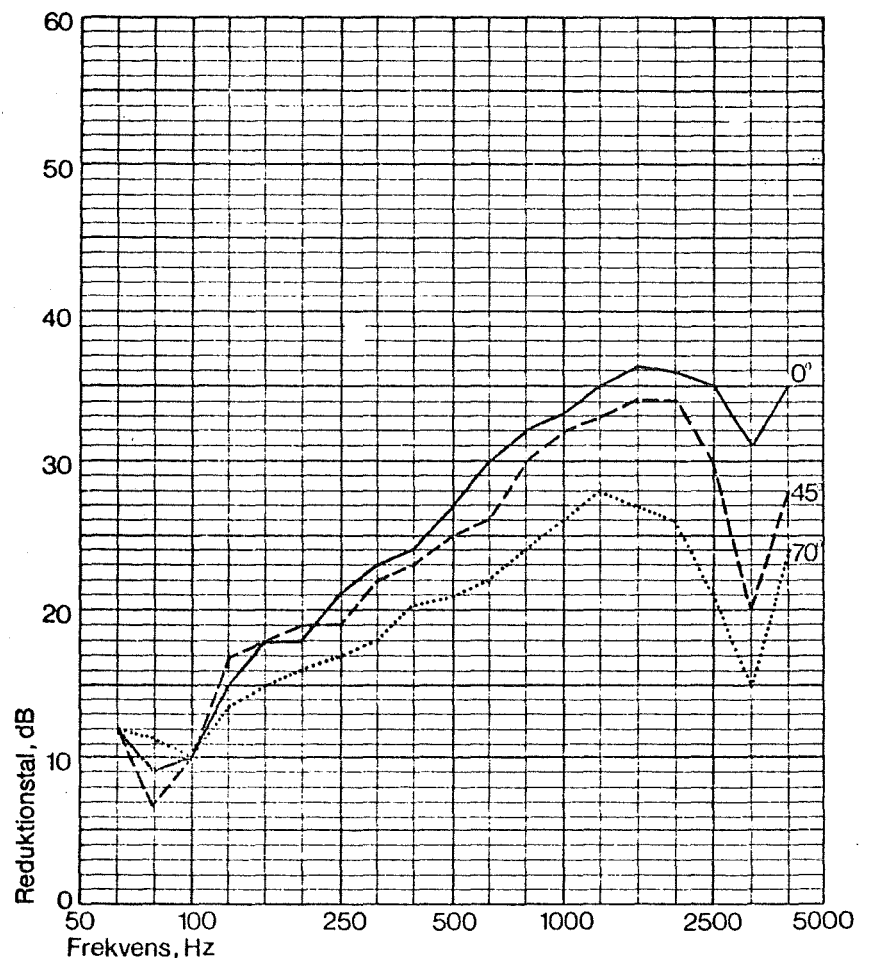
L_M = middelværdien af lydtrykniveauet i modtagerummet,

A = modtagerummets ækvivalente absorptionsareal, og

S = det areal, hvorigennem lydtransmissionen finder sted. Det forudsættes, at man kan se bort fra transmissionen ad andre veje.

Reduktionstallet bestemmes normalt pr. 1/3 oktav. Korrektionsleddet $-10 \log \frac{A}{S}$ korrigerer for modtagerummets evne til at absorbere lydenergi og for størrelsen af det areal, som transmitterer lydenergi - faktorer som påvirker sammenhængen mellem det lydtrykniveau, man måler i modtagerummet og den lydeffekt, som transmitteres gennem den adskillende konstruktion. L_S og L_M skal måles i de diffuse lydfelter i sende- og modtagerum. Sammenhængen mellem de målte lydtrykniveauer og de lydef-

en bestemt indfaldsvinkel, er normalt kun opfyldt, når man måler med en højttaler som lydkilde. Det skal understreges, at R_γ normalt adskiller sig fra reduktionstallet i diffust felt, R , som måles i laboratoriet, idet lyden her falder ind under alle vinkler. Den værdi af $L_u - L_i$, man registrerer ved måling, varierer med varierende indfaldsvinkel γ . Denne variation er betinget af den måde, hvorpå lydbølgerne påvirker facaden. Sammenligner man med udtrykket (4.4), vil man se, at der i (4.5) er en faktor $\cos \gamma$ på arealet S . Dette har ikke direkte noget med den omtalte påvirkningsmåde at gøre, men er en korrektion for det mindre areal, man fra støj-kilden "ser" af facaden. Et eksempel på resultater af måling af reduktionstallet for et 4 mm enkeltvindue for forskellige indfaldsvinkler er vist i figur 4.39. Vinduets reduktionstal varierer med lydets indfaldsvinkel.



Figur 4.39 Eksempel på resultater af måling af reduktionstallet for et enkeltvindue med 4 mm glas for forskellige indfaldsvinkler (efter Lange, de, 1969).

for 3 forskellige dobbeltvindueskonstruktioner. Dette gælder for små værdier af vinklen β mellem terrænplanen og en plan gennem midtpunktet af vinduet og den linje, hvorpå lydkilden tænkes at bevæge sig (figur 4.40). For store værdier af β aftager reduktionstallet. Målinger fra praksis har ganske vist ifølge Ljunggren, 1972, givet nøjagtig den modsatte tendens, dvs. reduktionstallet var større for en stor værdi af β (45°) end for en lille værdi (0°). Det fremgår af de angivne resultater, at dette er tilfældet for frekvenser over 300-400 Hz. Ljunggren mener, at det kan skyldes utæthed ved de vinduer, hvis isolation man har målt. Han konkluderer i hvert fald, at man for de fleste praktiske situationer kan angive reduktionstallet som

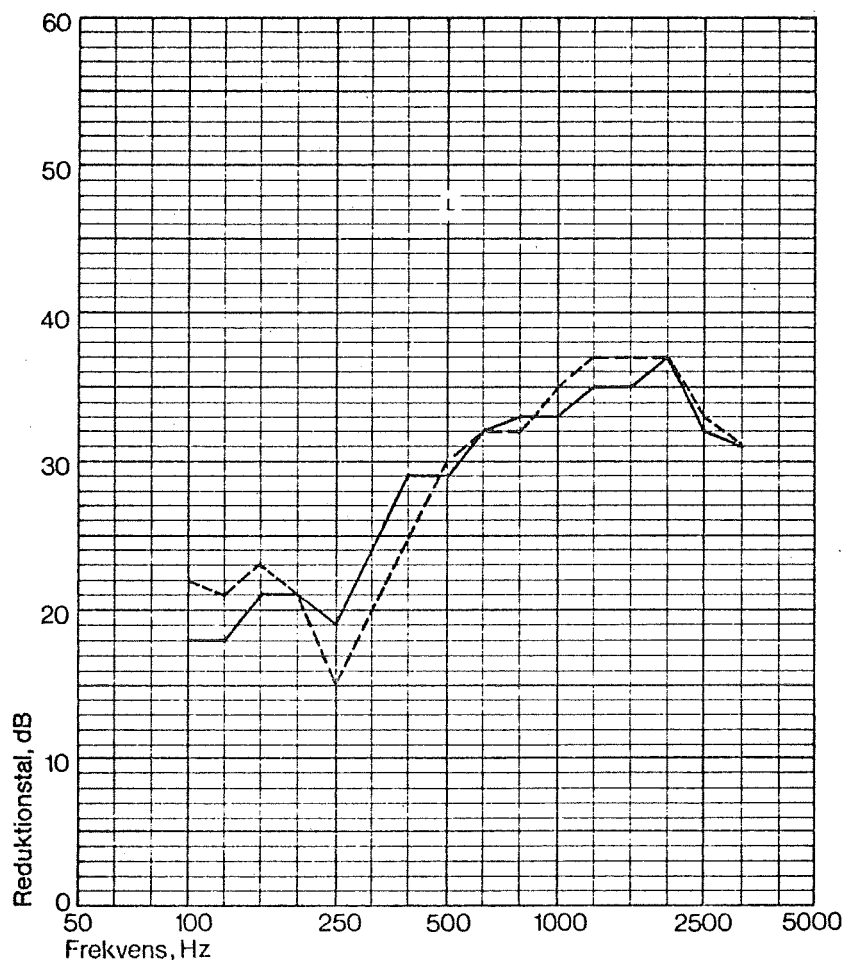
$$R_{tr} \approx L_u - L_i - 10 \log \left(\frac{\pi A}{2 S} \right) \quad (4.6)$$

hvor betegnelserne på højre side er de samme som i 4.5.

Udtrykket adskiller sig fra udtrykket (4.5) ved, at $\frac{1}{\cos \gamma}$ er erstattet af $\pi/2$. Dette skyldes variationen i intensiteten i det indfaldende lydfelt i planen $\beta = 0$.

Udtrykket blev testet ved, at man for 8 forskellige typer af vinduer målte reduktionstallet i laboratoriet. Derpå blev vinduerne anbragt nær terræn ($\beta = 0$) i en facade med et meget stort reduktionstal, og vinduets reduktionstal blev målt med en trafikstrøm parallelt med vinduet som støjkilde. Der var god overensstemmelse mellem de to typer af reduktionstal, undtagen for de laveste frekvenser, hvor måleusikkerheden samtidig er størst. Når man ser bort fra disse laveste frekvenser, dækker Ljunggrens begreb "god overensstemmelse" forskelle mellem de to typer af reduktionstal på op til 10 dB ved visse frekvenser.

Rindel, 1971, har for et 4 mm enkeltvindue og for et termovindue, 4 mm glas - 12 luft - 4 mm, bestemt reduktionstallet R i laboratoriet og reduktionstallet R_{tr} med en vej parallelt med facaden som støjkilde. Lydtrykniveauet L_u udendørs blev målt 4 m foran facaden. R_{tr} beregnet ved hjælp af udtrykket:



Figur 4.42 Reduktionstallet som funktion af frekvensen for termorude (4 mm glas - 12 mm luft - 4 mm glas).

— R_{tr} , middelreduktionstal 100-3150 Hz:
 $R_M = 29$ dB

---- R , middelreduktionstal 100-3150 Hz:
 $R_M = 29$ dB

(Efter Rindel, 1971).

lydkilden befandt sig i terrænhøjde, og at terrænet var totalreflekterende.

Hvis der er tale om en vis terrændæmpning, jævnfør afsnit 4.2, vil man, når lydkilden befinder sig langt borte, dvs. store værdier af α , figur 4.40, og når facaden er parallel med vejen, få et forholdsvis mindre bidrag til den indfaldende lydenergi end tidligere forudsat. Reduktionstallet, der er beregnet som tidligere omtalt ved integration, vil altså for den samme værdi af β i højere grad blive bestemt af, hvordan forholdene er ved vinkelret lydindfald end i situationen uden terrændæmpning. Det vil igen sige, at jo større terræn-

Gaderum

I et lukket gaderum vil lyden på grund af de gentagne refleksioner mellem facaderne ramme vinduet under mange forskellige indfaldsvinkler, og forholdene vil derfor til en vis grad minde om forholdene i et diffust lyd-felt.

Sammenfatning

Sammenfattende må det siges om indfaldsvinklens betydning, at langt fra alle aspekter er afklaret i detaljer, men at man nok - i hvert fald hvis man undtager ekstreme tilfælde i stil med det, der er vist i figur 4.44 - kan regne med en sammenhæng mellem laboratoriemålt reduktionstal og differens mellem lydtrykniveau ude og inde nogenlunde som angivet ved (4.6). Denne sammenhæng gælder for vinduer nær terræn ved en uendelig lang vej, og den kan omskrives til

$$R_{tr} = L_u - L_i - 10 \log \frac{A}{S} - 2 \text{ dB} \quad (4.8)$$

idet $10 \log \pi/2 \approx 2$.

I DS/ISO 140/V, 1978, angives et udtryk, der svarer til

$$R_{tr} = L_u - L_i - 10 \log \frac{A}{S} - 3 \text{ dB} \quad (4.9)$$

med de tidligere anvendte betegnelser. Udtrykket (4.9) er i overensstemmelse med formel (1) i DS/ISO 140/V, 1978, idet det udendørs lydtrykniveau i denne standard angives ved lydtrykniveauet 2 m foran facaden inklusiv bidraget fra den reflekterede lyd, dvs. $L_u - 3 \text{ dB}$. Forskellen mellem (4.8) og (4.9) skyldes, at korrektionen (-2) dB fra (4.8) suppleres med (-1) dB på grund af højdevinklens afvigelse fra 0° , figur 4.40.

I praksis kan man med rimelig tilnærmelse anvende reduktionstallet R målt i laboratoriet i stedet for R_{tr} i 4.9. Ved vurdering af den forskel mellem lydtrykniveauet ude og inde, som kan forventes i praksis, kan man altså tage udgangspunkt i

$$L_u - L_i = R + 10 \log \frac{A}{S} + 3 \text{ dB} \quad (4.10)$$

fald. I frekvensområdet omkring koincidensfrekvensen reduceres reduktionstallet kraftigt, fordi svingningen af luften "passer godt sammen med" svingningen i glasset. Den kritiske frekvens for 3 mm glas er ca. 4 kHz, for 4 mm glas ca. 3 kHz, for 6 mm glas ca. 2 kHz etc.

Dobbeltvindue

Lydtransmissionen gennem dobbeltvinduer er mere kompliceret at beskrive end transmissionen gennem enkeltvinduer. Det skal blot nævnes, at forholdene blandt andet kompliceres af forekomsten af resonanser - tilpasning mellem delene i et svingende system. Man skelner mellem to typer af resonanser, nemlig

1. masse - fjeder - masse - resonans, idet luften mellem glassene kan anskues som en fjeder, der forbinder to masser. Resonansfrekvensen er lav og afhænger af glaspladernes masse og afstanden mellem dem.
2. hulrumsresonans, der opstår, idet der dannes stående bølger i hulrummet mellem glassene. Resonansfrekvensen er ret høj og afhænger hovedsagelig af afstanden mellem glassene.

Disse resonansfænomener forringer vinduets lydisolerende egenskaber ved visse frekvenser.

Parametre og indflydelsen af en ændring af disse

Resultaterne af de teoretiske overvejelser og praktiske målinger, der er refereret i blandt andet Marsh, 1971, kan anvendes til nogle enkle betragtninger om, på hvilken måde ændringer af de parametre, der er bestemmende for vinduers lydisolation, påvirker denne. For mere detaljerede betragtninger må henvises til fx Marsh, 1971, som også rummer et stort antal litteraturhenvisninger.

En stor del af eksemplerne i det følgende er hentet fra Ingemansson, 1968, idet de vindueskonstruktioner, som denne reference behandler, er rimelig repræsentative for de vinduestyper, man kan møde her i landet. Der kan i sagens natur kun gives typiske eksempler og vises tendenser. Mere specielle forhold må behandles i detaljer i det konkrete tilfælde.

Tæthed Ventilation

Det er naturligvis også fra et lydisolationssynspunkt vigtigt, at vindueskonstruktionen er tæt - dvs. at al-

Gennem en utæthed vil der transmitteres lydenergi ud over den transmission, der finder sted gennem det tætte vindue. Lydtransmissionen gennem utætheden bestemmes hovedsagelig af utæthedens areal og af dens geometriske form. Gennem "lang" åbning, revne, vil transmitteres mere lydenergi end gennem en cirkulær åbning med samme areal, Ingerslev, 1944. Lydtransmissionen gennem utætheder og åbninger i øvrigt er naturligvis meget kompliceret at beskrive i detaljer. Der forekommer således resonansfænomener og lignende. Dette skal ikke omtales her.

Lydtransmissionen gennem en utæthed er - bortset fra frekvenser omkring resonansfrekvenserne - praktisk taget uafhængig af frekvensen, og uafhængig af vindueskonstruktionen, dvs. om der er tale om et enkeltvindue eller om et dobbeltvindue. En utætheds indflydelse på en given vindueskonstruktions reduktionstal vil derfor være størst ved de højeste frekvenser, hvor den tætte konstruktions reduktionstal er størst, og indflydelsen vil være størst ved godt isolerende vinduer.

Man kan måske sige, at fremkomsten af en utæthed vil bevirke, at reduktionskurven "flades ud". Ved voksende utæthedsareal bliver denne tendens mere og mere udpræget - reduktionstallet bestemmes i højere og højere grad af lydtransmissionen gennem utætheden. Når der bliver tale om en egentlig åbning, vil reduktionstallet være næsten uafhængig af frekvensen. Problematikken omkring delvis åbne vinduer omtales senere.

Hvis man anvender godt tætnede dobbeltvinduer, kan der dannes kondens på indersiden af den yderste rude. Ingemansson viser (1968), at det fra et lydisolationspunkt er en fordel at sørge for, at ventilation af rummet i dobbeltvindueskonstruktionen sker gennem cirkulære huller boret i den udvendige ramme, frem for gennem en ikke tætnet spalte ved den udvendige vinduesramme.

Et problem, der kan opstå, når man anvender meget tætte vindueskonstruktioner, er, at luftfornyelsen i rummet ved naturlig ventilation bliver utilstrækkelig. Passende udformede ventilationskanaler, beklædt indvendig

fra 3 mm til 4 mm glas. Forbedringen er som det ses af figur 4.46 af størrelsesordenen 4-5 dB ved de laveste frekvenser, glasafstand 10 cm (se også figur 4.53).

Når man øger glastykkelsen, bliver koincidensfrekvensen lavere. Ingemansson angiver (1973), at der normalt er ringe gevinst at opnå ved at anvende glastykkelser på mere end 6 mm. Med en så lavfrekvent domineret type af støj som vejtrafikstøj, jævnfør indendørs-spektrene i figur 4.48-4.54, vil anvendelse af glastykkelser på op til i hvert fald 12 mm dog kunne betyde øget lydisolation.

Den øgede transmission omkring koincidensfrekvensen kan tænkes modvirket ved anvendelse af dobbeltvinduer med forskellig glastykkelse og dermed koincidensfrekvens for de to ruder.

En anden vigtig parameter er glasafstanden. I en dobbeltkonstruktion forekommer der som nævnt masse - fjeder - masse resonans. For at reducere indflydelsen fra denne resonans, må man sørge for, at resonansfrekvensen bliver så lav, at dens indflydelse på isolationen bliver uvæsentlig.

For at opnå dette må afstanden mellem glassene være af størrelsesorden 80 mm for normale glastykkelser, Ingemansson, 1973. Resonansfrekvensen bliver nemlig da mindre end 100 Hz. Under denne frekvens er lydenergiindholdet i vejtrafikstøj, A-vejet, normalt så lille, at det ikke giver noget betydende bidrag til det totale lydniveau i dB(A).

Dette indebærer, at normale termoruder - dvs. med glasafstand på fx 8 - 12 mm, ikke er hensigtsmæssige set fra et lydisolationssynspunkt. Til illustration af dette kan fx henvises til figur 4.42, hvor der er et markant dyk i reduktionstalkerne ved 250 Hz i modsætning til fx reduktionstalkerne for et dobbeltvindue med 2 x 4 mm glas adskilt af et 100 mm luftmelletrum i figur 4.53 A. Her er ingen resonansdyk i det frekvensområde, hvor lydenergiindholdet i vejtrafikstøj er størst.

Det nævnes i Marsh, 1971, at resonansfrekvensen for

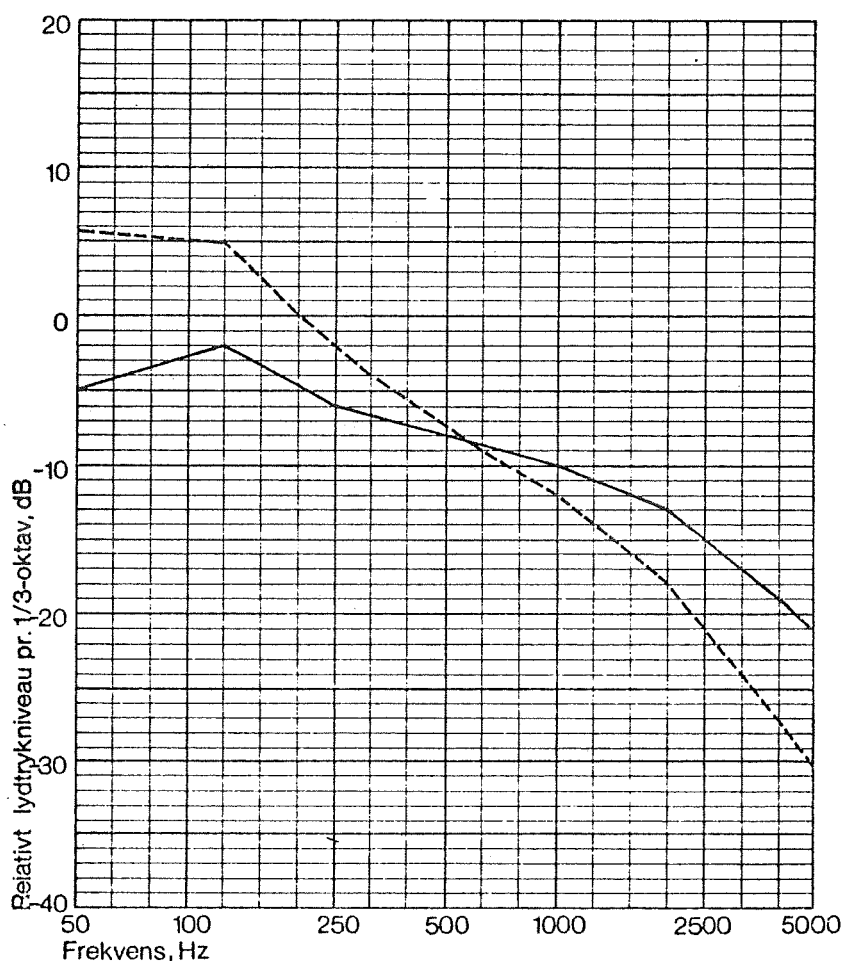
ser (125 og 160 Hz). Den samme tendens gjorde sig gældende for et 6 mm glas - 10 cm luft - 6 mm glas - vindue, jævnfør figur 4.53 A. For højere frekvenser, dvs. over 250 Hz, gav derimod allerede 2,5 cm karmabsorbent en forbedring på 3-6 dB afhængig af frekvensen. Anvendelse af en 10 cm karmabsorbent er selvsagt problematisk for oplukkelige vindueskonstruktioner.

Endelig bør det nævnes, at man - specielt i forbindelse med dobbeltvinduer med stor glasafstand - kan frygte, at der overføres vibrationer fra den yderste glasplade til den inderste via rammen (eller karmen). Ingemansson nævner således (1968) et eksempel på, at en forøgelse af glasafstanden fra 10 cm til 20 cm ikke gav nogen særlig forøgelse af reduktionstallet. Han konkluderer, at man havde en lydtransmission via karmen, som var af samme størrelsesorden som transmissionen via luftmelle rummet, og at man altså for at kunne udnytte den store glasafstand ville være nødt til at foretage en vibrationsisolering af karmen.

Specielle vinduer

Man kan anvende en speciel lagdelt konstruktion, hvor flere lag glas monteres med ganske små luftmelle rum. Afstanden mellem glaspladerne skal være så lille, at masse - fjeder - masse - resonansen bliver uden praktisk betydning. Vinduets masse øges uden at ko incidensfrekvensen reduceres. Disse glas har kun indbyrdes forbindelse langs randen. Alternativt kan man anvende en sandwichkonstruktion, hvor ruden består af glasplader adskilt af et lag af blødere materiale, plastic. Der ved øges den indre dæmpning i ruden og virkningen af ko incidens reduceres, dvs. ko incidensfrekvensen flyttes til en så høj frekvens, at man i praksis kan se bort fra dens virkning. En fordel ved disse specielle konstruktioner er, at de på grund af deres forholdsvis begrænsede tykkelse i nogle tilfælde vil kunne monteres i stedet for enkeltvinduer eller termoruder i en eksisterende vindueskonstruktion uden gennemgribende ændringer af karm og vinduesrammer. Den lyd isolation, man kan opnå, kan være af samme størrelsesorden som lyd isolationen for dobbeltvinduer med op mod 10 cm glasafstand.

til det totale lydniveau i dB(A).



Figur 4.47 De frekvensspektre, som er anvendt ved beregning af lydniveaudifferenserne. Lydtrykniveauerne pr. 1/3-oktav er angivet relativt til det totale lydniveau i dB(A).

— uskærmet

--- skærmet

(Efter Ingemansson, 1970).

Da vindueskonstruktioner i almindelighed har størst reduktionstal ved de høje frekvenser, vil forskellen i dB(A) mellem lydniveauet ude og inde være afhængig af det valgte spektrums form. Under lydets udbredelse dæmpes lyden normalt mest i den høje del af frekvensområdet. Derfor vil forskellen i dB(A) mellem lydniveauet ude og inde være afhængig af, hvor langt og under hvilke betingelser, lyden efter udsendelsen har udbredt sig. Derfor er ud over det nævnte spektrum udført en beregning med et "skærmet" spektrum (figur 4.47), som er dæmpet 3 dB pr. oktav i forhold til det "uskærmede". Det "skærmede" spektrum kan siges at repræsen-

I tabel 4.5 er givet en sammenfatning af beregningsresultaterne, idet middelreduktionstallet og lydniveaudifferensen for henholdsvis den uskærmede og den skærmede situation er anført for hver vinduestype.

Delvis åbne vinduer

Åbnes et vindue delvist, vil vindueskonstruktionens reduktionstal - afhængig af dens konkrete udformning - i hovedsagen være bestemt af åbningens areal. Det må antages, at frekvensspektret indendørs blandt andet vil være influeret af vindueskonstruktionens udformning (fx om det er tophængt eller sidehængt, eller om der er tale om et vippevindue af en eller anden art), og af dets orientering i forhold til støjkilden. Der foreligger så vidt det vides ikke resultater af systematiske målinger på forskellige vindueskonstruktioner.

Da det formentlig som regel vil være de lavfrekvente frekvenskomponenter i støjen, der vil være bestemmende for differensen mellem lydniveauet ude og inde, kan man forsøge at få et indtryk af lydniveaudifferensens størrelsesorden ved at betragte åbningens areal som parameter og se bort fra vindueskonstruktionens udformning.

I Ford, 1973, er blandt andet angivet resultater af laboratiemålinger af reduktionstallet for skydevinduer, som dels var lukkede og dels var mere eller mindre åbne. På basis af disse resultater har man for et trafikstøjspektrum, der svarer nogenlunde til spektret i figur 4.47, beregnet lydtrykniveauet L_1 pr. oktav indendørs ved hjælp af udtrykket

$$L_1 = L_0 - 3 - R + 10 \log \frac{4S}{A} \quad (4.12)$$

hvor L_0 = lydtrykniveauet i 1 m afstand fra husfacaden

R = vinduets reduktionstal

S = vinduets areal

A = modtagerummets ækvivalente absorptionsareal

Det anførte udtryk gælder for vinkelret lydindfald.

Idet man satte $A = 10 \text{ m}^2$ og $S = 3,1 \text{ m}^2$ (arealet af de vinduer, man målte på), beregnede man differensen

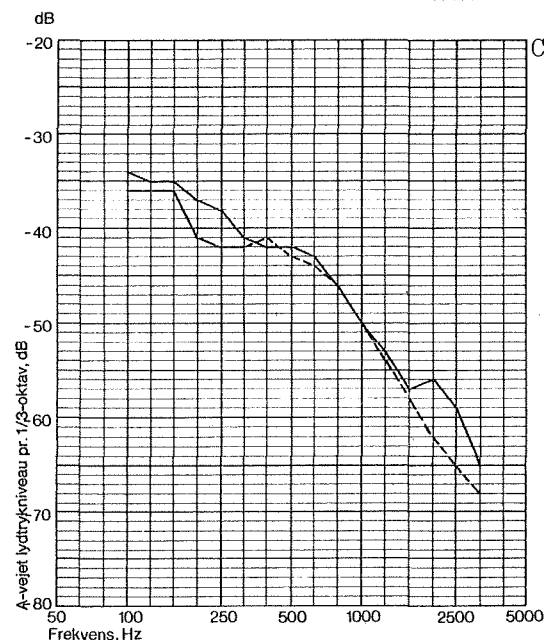
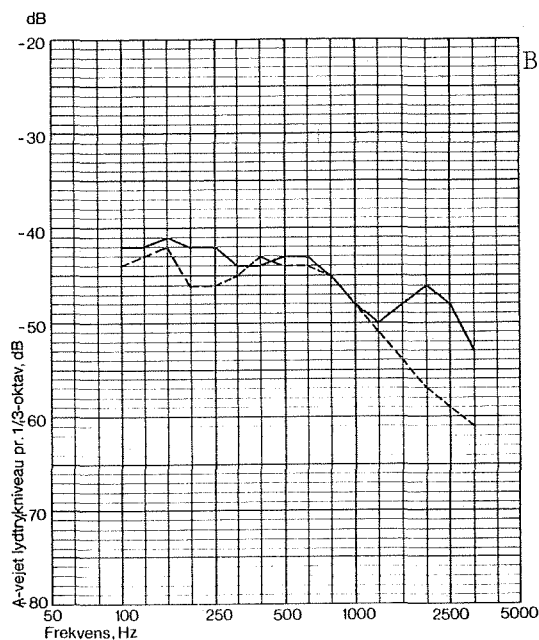
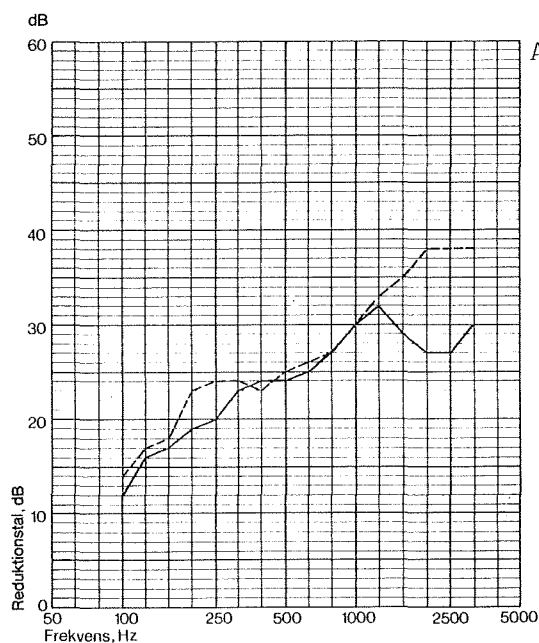
$(L_0)_A - (L_1)_A$ mellem lydniveauet ude og inde for for-

Figur 4.49 - Termovindue

(Fasold, 1965):
Drehflügelfenster,
1,6 m x 1,2 m,
træramme,
3 mm glas - 8 mm luft
- 3 mm glas.

m. tætningslister i
fals.

m. ekstra tætning af
fugen mellem væg og
karm.



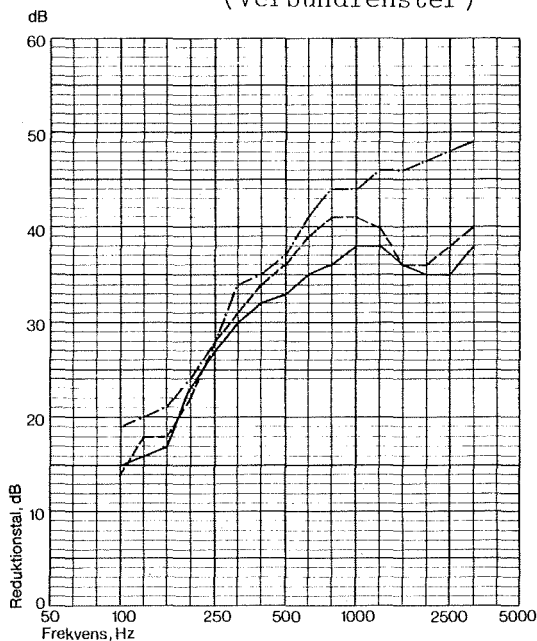
Figur 4.51 - Dobbeltvindue med koblede rammer af træ (Verbundfenster)

(Fasold, 1965):
 3 mm glas - 32 mm
 luft - 3 mm glas
 1,20 m x 1,60 m:

 "Normalt" monteret.

 med tætningslister
 i fals.

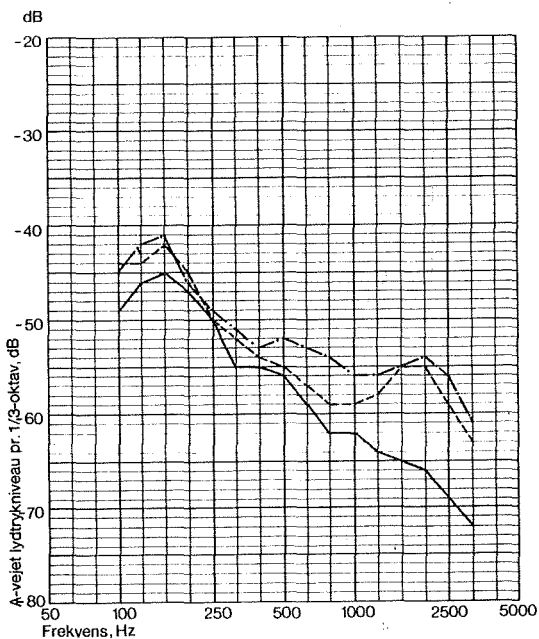
 med ekstra tætning
 af fuge mellem karm
 og væg.



A) Laboratoriemålt re-
 duktionstal som
 funktion af frekven-
 sen.

R_M dB

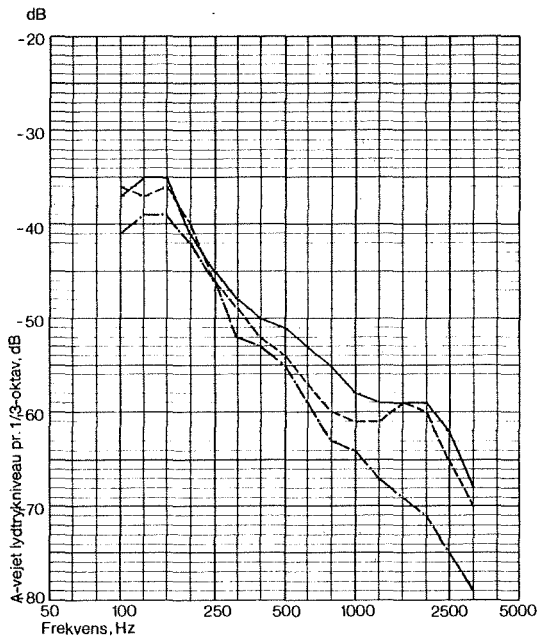
-----	30
-----	32
-.-.-	36



B) A-vejet frekvens-
 spektrum og lydni-
 veau indendørs re-
 lativt til lydni-
 veau 0 dB(A) på fa-
 caden undendørs-
 uskærmet.

ΔL dB(A)

-----	36
-----	37
-.-.-	40



C) A-vejet frekvens-
 spektrum og lydni-
 veau indendørs re-
 lativt til lydni-
 veau 0 dB(A) på fa-
 caden udendørs-
 uskærmet.

ΔL dB(A)

-----	30
-----	31
-.-.-	34

(Ingemansson, 1968):

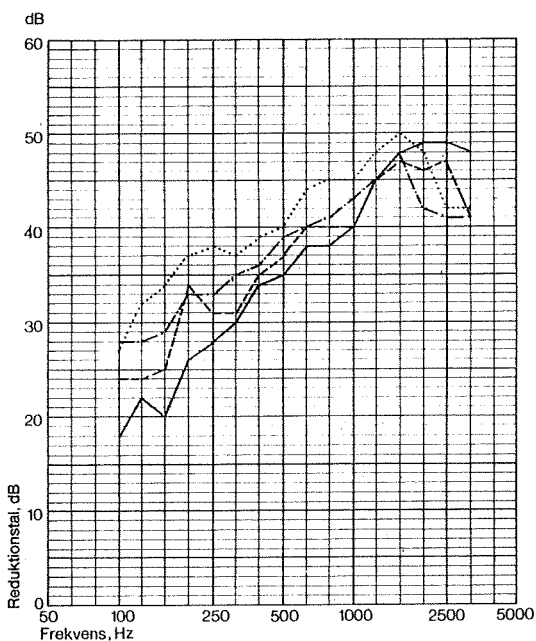
Figur 4.53 - Dobbeltvindue

3 mm glas - 100 mm
luft - 3 mm glas.

4 mm glas - 100 mm
luft - 4 mm glas.

6 mm glas - 100 mm
luft - 6 mm glas.

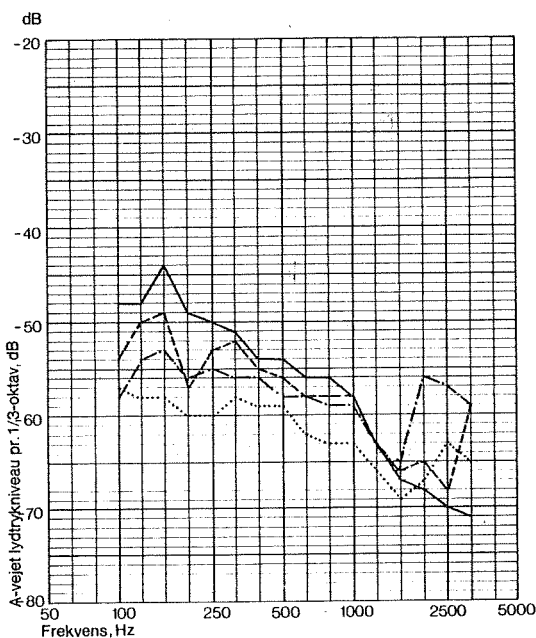
.....
6 mm glas - 100 mm
luft - 6 mm glas med
100 mm karmabsorbent.



A) Laboratoriemålt re-
duktionstal som
funktion af frekven-
sen.

R_M dB

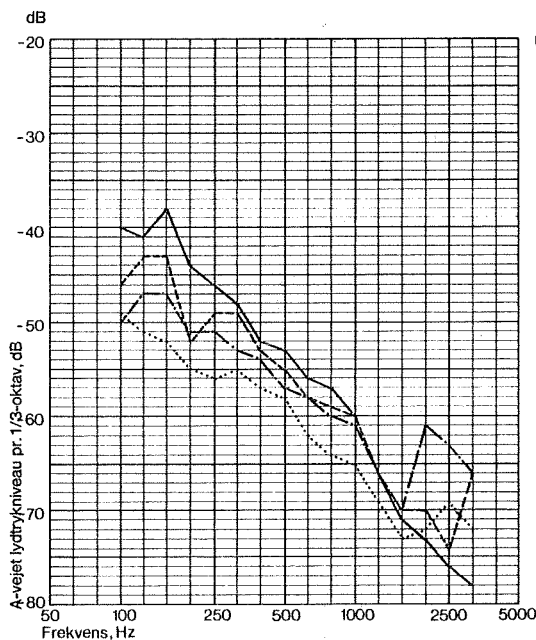
-----	35
-----	36
-----	36
.....	40



B) A-vejlet frekvens-
spektrum og lydni-
veau indendørs re-
lativt til lydni-
veau 0 dB(A) på fa-
caden udendørs - u-
skærmet.

ΔL dB(A)

-----	39
-----	43
-----	45
.....	48



C) A-vejlet frekvens-
spektrum og lydni-
veau indendørs re-
lativt til lydni-
veau 0 dB(A) på fa-
caden udendørs-
skærmet.

ΔL dB(A)

-----	34
-----	38
-----	42
.....	44

skellige åbningsarealer.

Lydniveaudifferensen er i Ford, 1973, blandt andet angivet for to typer af skydevinduer med enkeltglas, som funktion af vinduesåbningens bredde. Resultaterne er gengivet i tabel 4.6, hvor der for de to vinduestyper yderligere er angivet åbningens omtrentlige areal. Åbningen var i den ene vindueskonstruktion ca. dobbelt så lang som i den anden.

	Åbningens		$L_o - L_i$ dB(A)
	bredde mm	areal m^2	
Vindue 1	25	0,03	16
	50	0,06	14
	100	0,12	13
	200	0,24	11
Vindue 2	25	0,055	14
	50	0,11	13
	100	0,22	11
	200	0,44	9

Tabel 4.6 Lydniveaudifferens og åbningsareal (efter Ford, 1973).

Det ville have været hensigtsmæssigt at foretage en beregning af lydniveaudifferensen ved hjælp af udtrykket (4.11). Reduktionstallet for de delvis åbne vinduer er imidlertid ikke angivet i Ford, 1973. Skal man alligevel forsøge at tilpasse lydniveaudifferenserne fra tabel 4.6 til den terminologi, der i øvrigt er anvendt her, er det bedste man kan gøre på det foreliggende grundlag at angive differensen mellem lydniveauet på facaden og lydniveauet indendørs. Dette vil øge de differenser, der er angivet i tabel 4.6 med ca. 3 dB(A). En normering til 0,5 sekunders efterklangstid, som for de øvrige vindueskonstruktioner, er det ikke muligt at foretage. De angivne differenser må ikke desto mindre kunne anvendes som et rimeligt mål for delvis åbne vinduers lydisolation. Dette underbygges yderligere af resultaterne af nogle målinger refereret i Ford, 1973, hvorved man i laboratoriet har søgt at simulere felt-

Vinduestype	Forskel mellem lyd- niveau på facade og indendørs. Se tabel 4.5 og 4.6	Praktisk lyd- veaudifferens
	dB(A)	dB(A)
Delvist åbent - alle typer -	15 - 20	15
<u>Lukkede vinduer</u>		
Enkeltvindue	27 - 34	30
Termorude	28 - 34	30
Dobbeltvindue lille glasafstand 50 mm	30 - 40	35
Dobbeltvindue stor glasafstand 75-100 mm	36 - 45	40
Specialglas	34 - 43	40
Dobbeltvindue med karmabsorbent	44 - 48	45
Specielle konstruk- tioner	45 - 53	50

Tabel 4.7 Forskel mellem lydniveauet på facaden og indendørs for forskellige vindueskonstruktioner. Der henvises i øvrigt til teksten.

dres under udbredelsen.

Grupperne "specialglas" og "specielle konstruktioner" adskiller sig fra hinanden ved, at den første: "specialglas" omhandler glas, som ofte kan indsættes i eksisterende vindueskonstruktioner uden alt for store modifikationer af vinduesrammerne, mens gruppen: "specielle konstruktioner" henviser til konstruktioner, der vil kræve total udskiftning, eller i hvert fald gennemgribende ændringer af de eksisterende vindueskonstruktioner.

4.9 Nogle beregningsregler

Som det fremgår af de foregående afsnit, er lydudbredelsesforholdene i byområder særdeles komplicerede. Ved at foretage en lang række forenklede forudsætninger kan man måske opnå rimelige beregningsresultater for forholdsvis ukomplicerede konfigurationer af veje og omkringliggende bebyggelse.

regningsresultaternes anvendelighed.

Hvis man trods alle disse begrænsninger af beregningsresultaternes værdi alligevel mener, at man har behov for at foretage en registrering af antallet af generede personer inden for et byområde, jævnfør afsnit 5 og 7, kan man eventuelt nøjes med at beregne støjpåvirkningen af de byfunktioner, som ligger nærmest vejen - også ud fra den betragtning, at lydniveauet under lydets udbredelse gennem bebyggelsen forholdsvis hurtigt reduceres til værdier, der giver et omend ikke tilfredsstillende så dog mindre belastende støjmæssigt miljø, end man har tæt ved vejen.

De anførte beregningsregler forudsætter, at lydudbredelsen finder sted over en akustisk hård overflade. Lydudbredelsen over græsbevoksede arealer fx i parker, og hvor der findes større ubebyggede og græsbevoksede arealer mellem vej og bebyggelse, må vurderes beregningsmæssigt ved hjælp af en dertil egnet metode, fx Støj og Byplan, 1971, Samhållsplanering, 1972, Ingemansson, 1970, Jonasson, 1973 a.

Det må understreges, at de anførte regler ikke er "brugervenlige" i nær samme grad som de nævnte beregningsmetoder, men snarere må opfattes som resultatet af et første forsøg på at indkredse de problemer, der er forbundet med at foretage en beregning af lydniveauet af vejtrafikstøjen i et observationspunkt i bymæssig bebyggelse.

Regler til brug ved beregning af lydfor- delingen omkring veje i byområder

Beregningen af det ækvivalente konstante lydniveau L_{Aeq} af vejtrafikstøjen i et givet observationspunkt foretages i princippet ved en bestemmelse af L_{Aeq} i et referencepunkt og en efterfølgende beregning af den totale reduktion af L_{Aeq} under lydets udbredelse fra referencepunktet til observationspunktet.

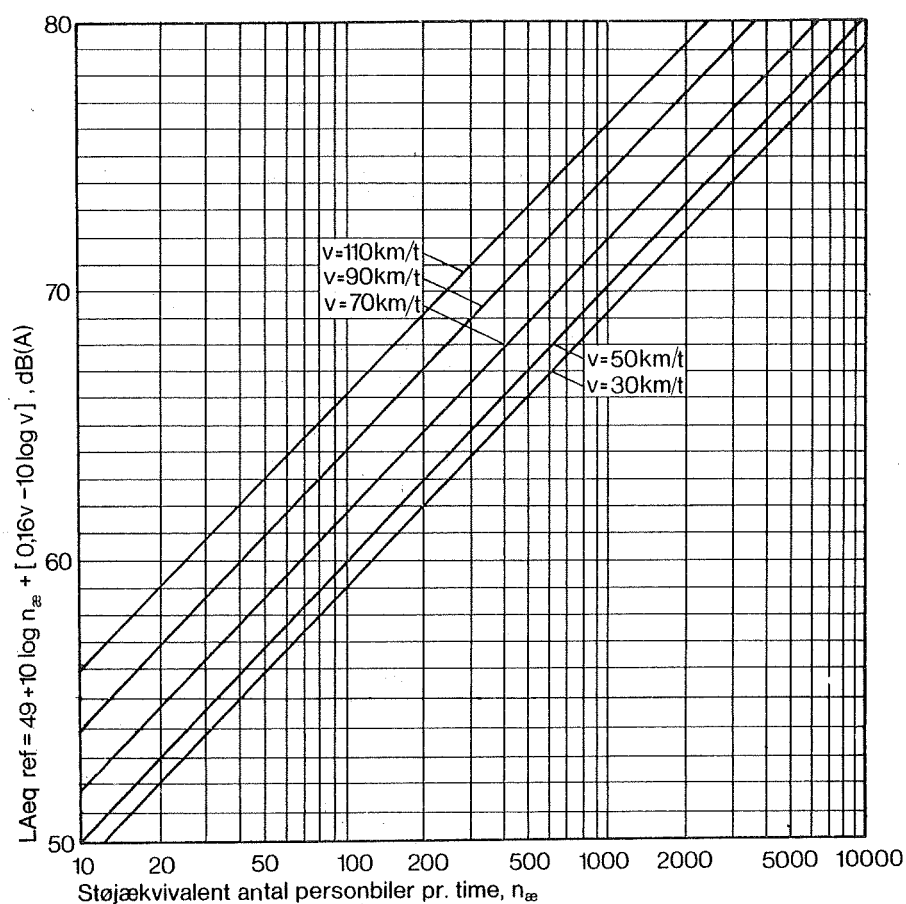
Beregning kan fx foretages på følgende måde:

- 1) Vejen opdeles i et antal delstrækninger, som hver for sig har et rimelig konstant "tværsnit" på hele længden (dvs. samme trafikmængde og -sammensætning, hastighed, geometrisk udformning mv). Den nødvendige detaljeringsgrad må skønnes i det enkelte tilfælde.

riode (time, dag, nat, døgn), for hvilken man ønsker at beregne L_{Aeq} .

$n_{\text{æ}}$ omregnes til støjækvivalent antal personbiler pr. time.

- 3) Køretøjernes middelhastighed, v (km/t), estimeres (evt. hastighedsgrænse).
- 4) Det ækvivalente konstante lydniveau L_{Aeq}^{ref} - i et referencepunkt i afstanden $a = 10$ m fra den idealiserede, uendelig lange, retlinede vej i plant terræn uden reflekterende genstande - bestemmes ved hjælp af figur 4.56.



Figur 4.56 Ækvivalent konstant lydniveau i 10 m afstand fra den idealiserede vej som funktion af det støjækvivalente antal personbiler pr. time. Parameter er middelhastigheden v .

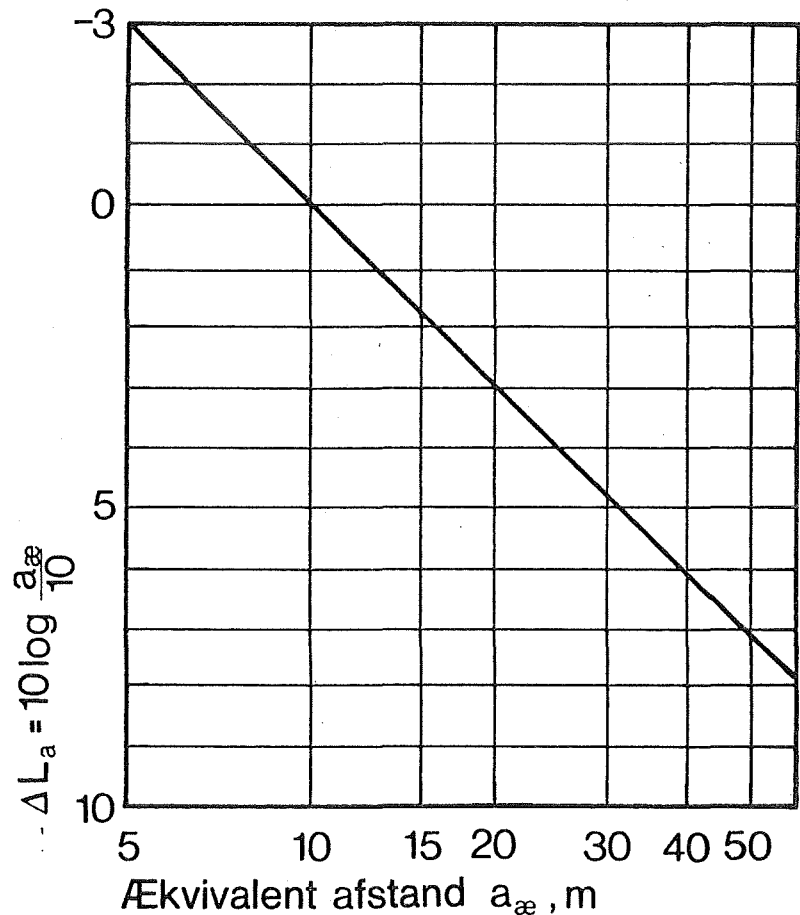
- 5) Den ækvivalente afstand, $a_{\text{æ}}$, fra observationspunktet til den "virkelige" vej bestemmes ved hjælp af figur 4.57.

2b er bredden af den befærdede del af vejbanen (figur 4.58 og 4.59).

h_o er observationspunktets højde over vejbanen.

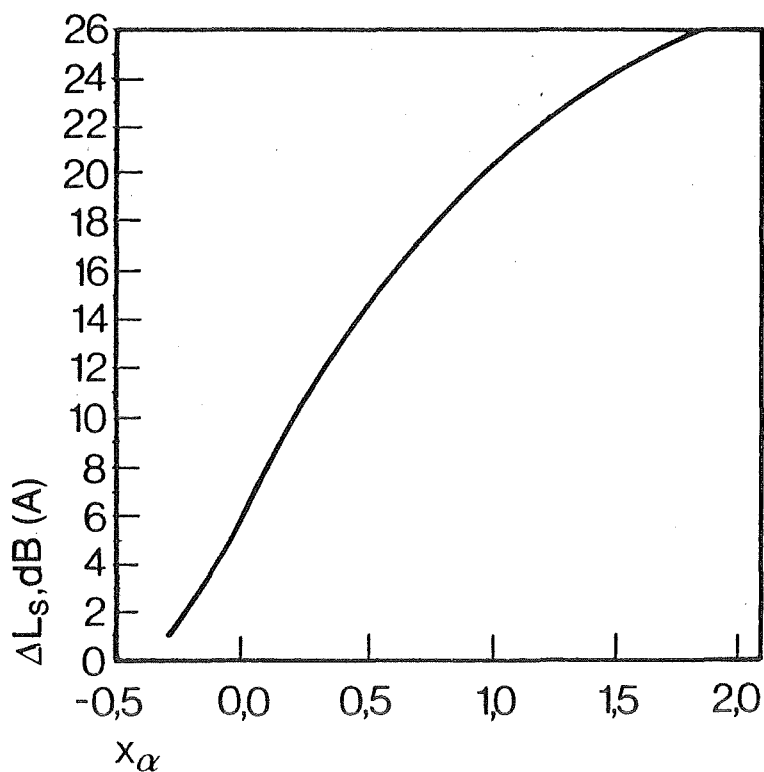
a er observationspunktets afstand fra vejmidten.

- 6) Reduktionen ΔL_a af det ækvivalente konstante lydniveau på grund af lydenergiens spredning under udbredelsen fra referenceafstanden 10 m til den aktuelle afstand $a_{\text{æ}}$ bestemmes ved hjælp af figur 4.60.

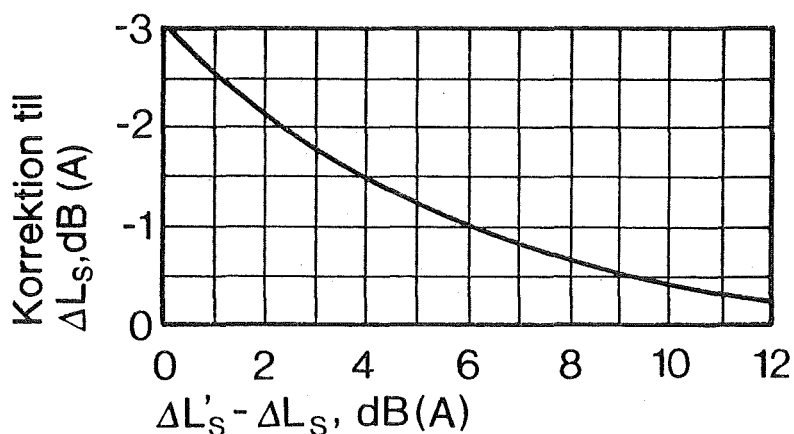


Figur 4.60 Reduktionen ΔL_a af det ækvivalente konstante lydniveau på grund af lydenergiens spredning under uhindret udbredelse fra referenceafstanden 10 m til observationspunktets ækvivalente afstand $a_{\text{æ}}$.

- 7) Reduktionen ΔL_s^{res} af det ækvivalente lydniveau - ud over den reduktion, der finder sted på grund af lydenergiens spredning under udbredelsen - på grund af en skærms (volds, murs) tilstedeværelse, bestemmes som følger, jævnfør afsnit 4.6



Figur 4.62 Skærmdæmpningen ΔL_s som funktion af skærmparameteren x_α . (Efter Jonasson, 1973 b).



Figur 4.63 Diagram til bestemmelse af den resulterende skærmdæmpning $\Delta L_s^{\text{res}} = \Delta L_s + \text{korrektion}$. (Efter Maekawa, 1968).

8. Korrektionen $\Delta L_\alpha = \div 10 \log \frac{\alpha_2 \div \alpha_1}{100}$ for, at kun bidraget fra delstrækningen fra mellem α_1 og α_2 betragtes, bestemmes ved hjælp af tabel 4.8.
9. Bidraget $L_{\text{Aeq},i}$ til det ækvivalente konstante lydniveau i observationspunktet fra den i^{te} delstrækning beregnes af $L_{\text{Aeq},i} = L_{\text{Aeq}}^{\text{ref}} \div \Delta L_a \div \Delta L_s^{\text{res}} \div \Delta L_\alpha$.
10. Det resulterende ækvivalente konstante lydniveau L_{Aeq} beregnes af $L_{\text{Aeq}} = 10 \log \sum_i \text{antilog} \frac{L_{\text{Aeq},i}}{10}$ eller ved

hjælp af tabel 4.9.

Forskel mellem delbidrag L_i dB(A)	Tillæg til det største delbidrag dB(A)
0 - 1	3
2 - 4	2
5 - 9	1
10 -	0

Tabel 4.9 Addition af delbidrag til det ækvivalente konstante lydniveau:

Til det største af to delbidrag adderes den korrektion, der er angivet i tabellen som funktion af forskellen mellem delbidragene. Ved addition af flere end to delbidrag adderes successivt.

Eksempel

$$L_{\text{Aeq } 1} = 50 \text{ dB(A)}$$

$$L_{\text{Aeq } 2} = 56 \text{ dB(A)}$$

$$\Sigma_{1,2} = 57 \text{ dB(A)}$$

$$L_{\text{Aeq } 3} = 57 \text{ dB(A)}$$

$$\Sigma_{(1,2),3} = 60 \text{ dB(A)}$$

Reflekterende fladers indflydelse

En reflekterende flades indflydelse kan generelt vurderes ved spejling af lydkilden i fladen og efterfølgende addition af delbidragene til det ækvivalente konstante lydniveau fra lydkilden og fra dens spejlbillede. Der henvises til afsnit 4.3 - 4.4.

Ensidig randbebyggelse

Nogle eksempler på den korrektion, der skal adderes til det beregnede lydniveau i frit felt, kan gives:

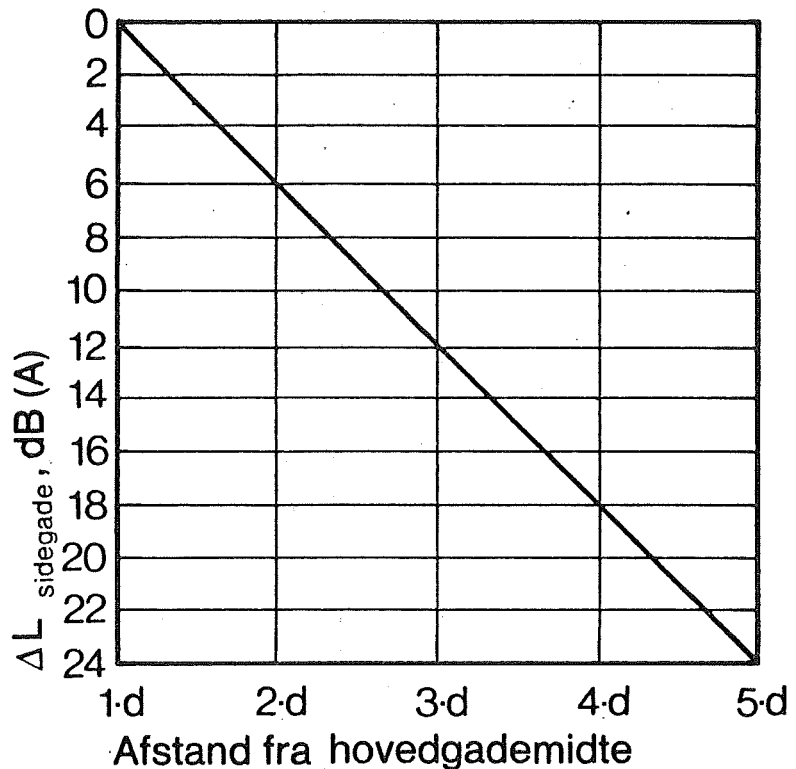
- foran en reflekterende flade (i fra ca. 0,5 m til nogle meters afstand) øges lydniveauet med 3 dB(A),
- på selve fladen (mindre end 5 cm fra facaden) øges lydniveauet med 6 dB(A),
- på den anden side af vejen øges lydniveauet med op til 3 dB(A) afhængig af blandt andet facadens længde og forholdet mellem afstanden fra henholdsvis lydkilden og spejlkilden til observationspunktet.

Lydudbredelse ind i sidegader

Det ækvivalente konstante lydniveau fra lokaltrafikken i sidegaden beregnes som angivet i det foregående. Her-til adderes et bidrag, som aftager med afstanden fra "hovedgaden".

Dette bidrag bestemmes ved

- 1) at bestemme det ækvivalente konstante lydniveau ved sidegadens åbning (hovedgadens facadeplan, afstand d fra hovedgadens midte) med eventuel korrektion for dobbeltsidig bebyggelse,
- 2) at korrigere for afstanden fra midten af hovedgaden, idet lydniveauet antages at aftage med 6 dB(A) for hver gang afstanden fordobles. Korrektionen $\Delta L_{\text{sidegade}}$ findes i figur 4.64.



Figur 4.64 Korrektion $\Delta L_{\text{sidegade}}$, for reduktionen af det ækvivalente konstante lydniveau ved lyd-ens udbredelse fra hovedgaden ind i side- gaden, som funktion af observationspunktets afstand, målt i halve hovedgadebredder, d , fra midten af hovedgaden.

Lydudbredelse i åben bebyggelse

Der henvises til afsnit 4.7.

Det ækvivalente kon- stante lydniveau indendørs

Beregning af det ækvivalente konstante lydniveau kan foretages efter den fremgangsmåde, som er skitseret i

5. STØJREGISTRERING

Tage V. Andersen

Dette afsnit omhandler anvendelse af den i SBI-Byplanlægning 26, Støj i Byen, del I afsnit 5, anførte metode til registrering og vurdering af støjgener i byområder.

5.1 Om anvendelse af målinger og oversigtlige vurderinger

Såfremt man ønsker at bedømme forholdene på et bestemt sted med de aktuelle støjkilder og den aktuelle udformning af de fysiske omgivelser kan dette gøres ved at foretage målinger på det pågældende sted over et passende tidsrum.

En måling kan dog kun anvendes til bedømmelse af eksisterende forhold og vil derfor i mange tilfælde være uanvendelig, fx hvor det drejer sig om vurdering af alternative forslag til et planlagt indgreb i trafikmønstret.

I disse tilfælde, og hvor det drejer sig om at få en oversigtlig vurdering af et område, må man benytte sig af de beregningsmetoder, der er angivet i afsnit 3 og 4, og hvis anvendelse skal demonstreres i det følgende afsnit gennem en beskrivelse af beregningsgangen.

5.2 Eksempel på metode til oversigtlig vurdering af et områdes støjproblemer

Først bestemmes trafikmængden ud fra målinger, beregninger eller prognoser, for hvert enkelt gadestykke mellem to kryds, 3- eller 4-vejs. På disse gadestykker kan trafikmængden regnes konstant, idet der ses bort fra kantstensparkering og lignende.

Dernæst skønnes andelen af tung trafik og køretøjernes middelhastighed. Såfremt man ikke er i besiddelse af mere nøjagtige tal, kan man i udbyggede byområder skønsmæssigt sætte disse størrelser til henholdsvis 10 % og 50 km/t.

Man kan nu omregne de anførte trafikmængder til støjækvivalent antal personbiler efter formlen:

$$N = n \cdot \frac{100 + 9p}{100} \quad (1)$$

det betragtede gadestykke.

Yderligere korrigeres der for reflekterende flader som angivet i afsnit 4.9 under reflekterende fladers indflydelse.

Man kan nu beregne den endelige værdi af $L_{\text{æq}}$ i gadeni-veau.

Endelig bør man i detaljerede beregninger korrigere for indflydelsen fra sidegade, som det er angivet i figur 4.64. Ved oversigtlige vurderinger af større område, får denne korrektion kun ringe indflydelse på det samlede resultat, hvorfor der i disse tilfælde kan ses bort fra dette.

Man bestemmer dernæst antallet af beboere for hvert gadestykke. Sammenholdes dette med den tilsvarende endelige værdi af $L_{\text{æq}}$ (eventuelt forenklet til intervaller på 5 dB(A)), kan man ud fra figur 2.13 beregne andelen af "meget generende" for de forskellige alternativer.

Ved bedømmelsen af forholdene for et større byområde kan der ved en overslagsberegning ses bort fra "randproblemerne" langs de større gader, der omgiver området. Disse ofte stærkt trafikerede gader har dog en ikke uvæsentlig indflydelse på det nærmeste stykke af de tilgrænsende sidegader, hvorfor man ved en detailberegning må medtage også dette forhold i beregningerne.

I en detaljeret undersøgelse må man også tage hensyn til, at støjen varierer med etagehøjden, hvilket blandt andet får betydning for den ækvivalente afstand $a_{\text{æ}}$, der benyttes i beregningerne, samt medfører en korrektion efter tabel 4.11 i afsnit 4.9.

For at kunne udføre så detaljerede beregninger må man desuden have kendskab til beboernes fordeling på de enkelte etager for hvert gadestykke.

I områder med stort set ensartet bygningshøjde, får dette forhold dog næppe den store betydning for sammenligningen af forskellige alternativer.

6. STØJBEGRÆNSNING - TRAFIKALE INDGREB OG DERES STØJ- MÆSSIGE EFFEKT

Tage V. Andersen

I afsnit 3 er opstillet en beregningsmodel for lydforholdene omkring en vej. I dette afsnit skal ses på de praktiske muligheder for at begrænse støjen fra en vej ved at ændre på de betydende parametre. Det drejer sig først og fremmest om trafikmængden, andelen af tung trafik og hastigheden, men af væsentlig betydning er også trafikens fordeling over døgnet og trafikafviklingsforholdene.

6.1 Indgreb over for trafikens omfang

Trafikmængden på gader og veje i byområder varierer over et betydeligt interval fra de mest trafikerede radialgader og brooverføringer i de større byer med ca. 60.000 køretøjer pr. årsmiddeldøgn til de blinde villaveje, der kun befærdes med en ganske ringe lokalt præget trafik.

Trafikmængden varierer i almindelighed kraftigt døgnet igennem. Normalt udgør spidstimetrafikken ca. 10 % af døgnetrafikken og en tilsvarende andel udgør trafikken om natten (kl. 20-06).

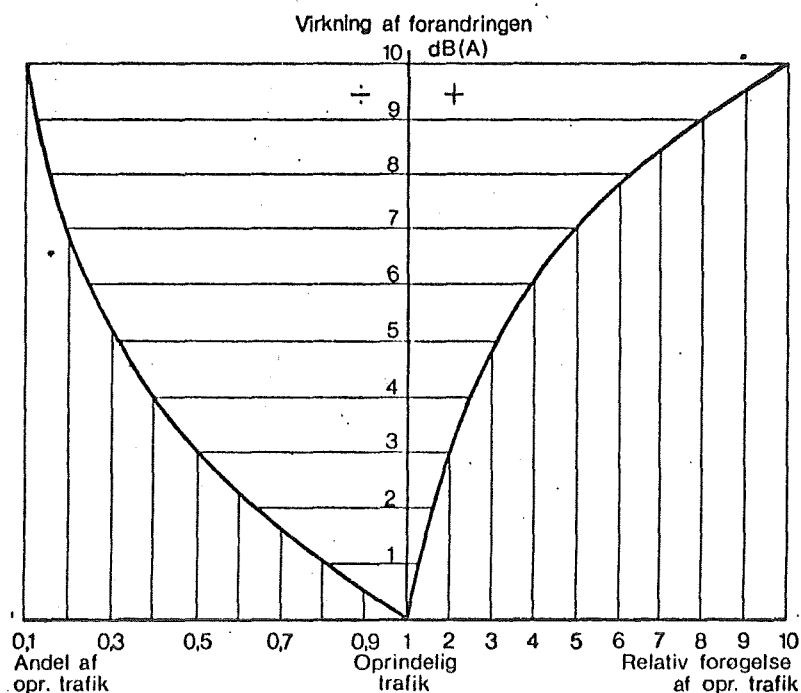
Middeldagtimens trafik udgør således 6-7 % af døgnetrafikken.

I litteraturen findes flere undersøgelser af sammenhængen mellem trafikmængde og støjniveau i nærheden af en vej med frit flydende trafik og åbent land omkring vejen.

Kun meget få forfattere (Bruckmayer, 1967, Johnson, 1968 og Stephenson, 1968) har forsøgt at finde en sammenhæng for trafikken i egentlig bymæssig bebyggelse. På grund af de stærkt varierende måleforhold (gadebredde, hushøjde, bebyggelsens karakter og lignende) er det meget vanskeligt at angive en generel sammenhæng uden alt for store usikkerheder.

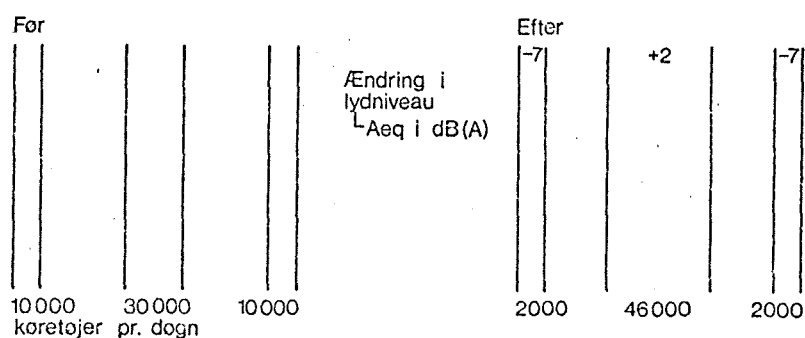
Der er dog visse generelle tendenser, som tilsyneladende kan overføres fra forholdene for den frit flydende trafik på en vej i åbent land.

For støjniveauet målt ved ækvivalentniveauet gælder så-



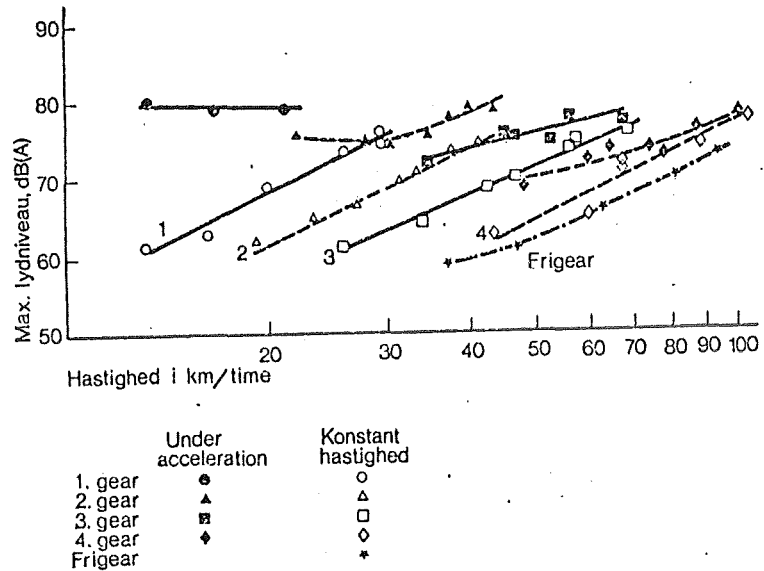
Figur 6.2 Ændringer i støjen som følge af relative ændringer af trafikmængden. (Efter Samhøllsplanering, 1972).

kan det blive nødvendigt "kunstigt" at tvinge dette igennem ved hjælp af gadelukninger, gennemkørselsforbud og lignende. I modsat fald vil en udvidelse af den større gade oftest blot blive udnyttet til en forøgelse af den samlede trafikmængde i området.



Figur 6.3 Som eksempel er set på en stærkt trafikeret gade, der udvides og derved overtager en betydelig del af trafikken på to nærliggende mindre gader. Støjniveauet i de mindre gader bliver herved væsentlig mindre, mens støjniveauet i den store gade ikke stiger mærkbart.

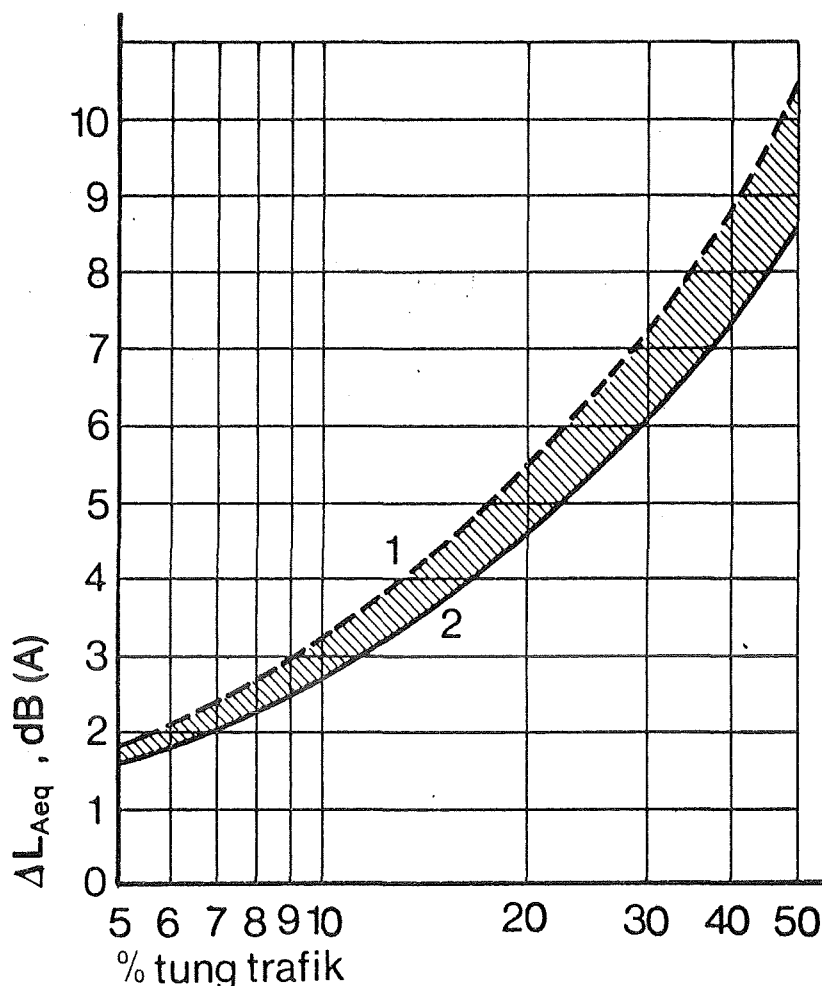
te bevirker, at man ved lavere hastighed ikke får den sænkning af støjen, som man efter ovenstående skulle forvente. Af figur 6.5 kan det ses, at accelerationer kan bevirke en forøgelse af støjen på op til 10-15 dB(A).



Figur 6.5 Eksempel på resultater af målinger af støjen fra en personbil med 1100 cm³ motor. Maksimalt lydniveau ved forbikørsel i 7,5 m afstand som funktion af køretøjets hastighed under forskellige kørselsbetingelser (Efter Harland, 1970).

Den støjmæssige virkning af en nedsættelse af hastigheden i bytrafikken, fx gennem indførelse af hastighedsbegrænsning, er dog sandsynligvis ikke særlig stor, da man næppe i praksis vil kunne gennemføre hastighedsgrænser under 50 km/t. Da middelhastigheden i bygader uden hastighedsbegrænsning sjældent overstiger 50-60 km/t, vil reduktionen af støjen kun blive 1-2 dB(A), og dette gælder kun for de større gader, da middelhastigheden i de mindre gader i forvejen er lavere end 50 km/t.

På de helt store gader, hvor middelhastigheden kan være 80-90 km/t, vil man dog muligvis kunne opnå en noget større nedsættelse af støjen (op imod 4 dB(A)).



Figur 6.6 1) Forbud uden forøgelse af personbiltrafik.
2) Forbud med fuld kapacitetsmæssig erstatning af personbiler.

prægede boligområder.

Dette gælder i særlig grad for industrier, der medfører meget tung trafik om natten og i de tidlige morgentimer.

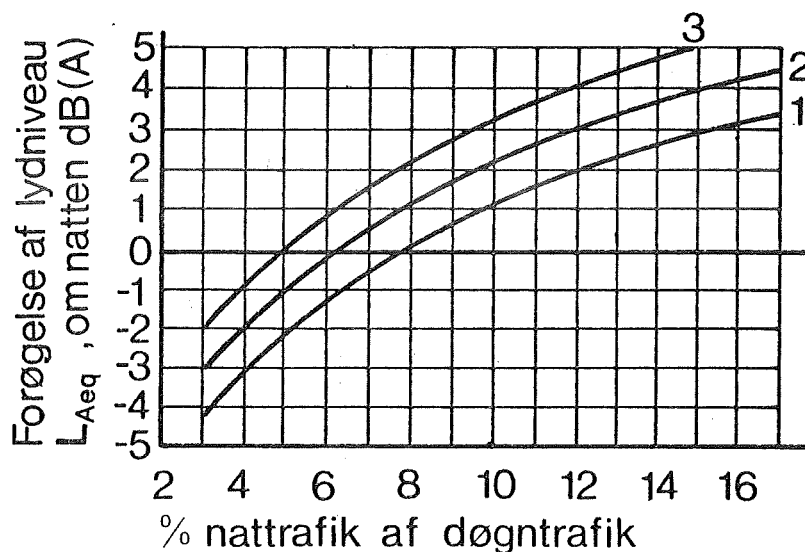
6.4 Indgreb over for trafikens fordeling over døgnet

Trafiktællinger i Danmark foretages hovedsagelig af Vejdirektoratet og af de større kommuner. Vejdirektoratets tællinger er især koncentreret om landevejsnettet og ved de mere specificerede tællinger, der belyser trafikens fordeling over døgnet og på de enkelte trafikarter, tælles der kun i tidsrummet kl. 6-18.

Tællinger i byområder foretages oftest af de pågældende kommuner, men disse tællinger er ligeledes koncentreret om de større gader og udfaldsveje, hvor kapaciteten som regel er hårdest udnyttet, og de dækker oftest kun et begrænset tidsrum, København kl. 6-20.

ingen indvirkning har på ækvivalentniveauet målt over hele døgnet, kan nattrafikkens relative størrelse derimod få stor betydning, såfremt man ønsker, at trafikstøjen ikke må overstige et bestemt maksimalt ækvivalentniveau om natten.

Af figur 6.7 kan det ses, hvor meget lydniveauet (L_{Aeq}) om natten aftager/forøges, når trafikken om natten er relativt lavere/højere end normalt for den pågældende vej- eller gadetype.



Figur 6.7 Forøgelse af ækvivalentniveau.

- 1) Fjernveje.
 - 2) Primærveje.
 - 3) Sekundærveje og fordelingsveje.
- (Efter Samhøllsplanering, 1972).

Da den tunge trafik i væsentlig grad kan dominere støjniveauet om natten, bør man søge at begrænse denne del af trafikken mest muligt i udprægede boligkvarterer.

I gader med ringe trafik, hvor der om natten kun kører enkelte tunge køretøjer, vil det maksimale støjniveau momentant stige ca. 10 dB(A), hvilket kan være særligt generende med søvnforstyrrelser til følge. I sådanne gader vil et forbud mod tung trafik om natten derfor have særlig stor værdi.

Da det her omtalte tilfælde ofte er typisk for renovationsvogne, ville en omlægning af disses arbejdstid fra de tidlige morgentimer til dagtimerne bevirke en forbedring af støjulemperne for mange mennesker.

Det vil oftest kun være muligt at skabe gode forhold for den mest trafikerede retning.

Ved acceleration stiger støjen kraftigt. Da busser i forvejen er mere støjende end personbiler, indebærer dette derfor en særlig risiko for støjgene i nærheden af busstoppesteder.

Også ved vejstigninger og vejsving bevirker den tunge trafik et særligt højt støjniveau. I figur 6.8 er vist, hvor meget lydniveauet L_{Aeq} stiger ved kørsel op ad en bakke med en given hældning for forskellige procenter tung trafik (Samhällsplanering, 1972). Da der i denne sammenhæng er flere usikkert bestemte faktorer, bakkens længde, bilernes hastighed før bakken og lignende, skal figuren anvendes med en vis forsigtighed.

frihed, vil være den udslagsgivende faktor.

Opinionsundersøgelser og erfaringer synes imidlertid at vise, at det kun vil være muligt at overføre mindre procentdele af persontrafikken fra biler til kollektive trafikmidler alene gennem forbedringer af det kollektive trafikapparat. Disse foranstaltninger får først virkelig effekt, når de følges op med restriktioner, hvor igennem benyttelsen af egen bil vanskeliggøres og for- dyres. Parkeringsrestriktioner af forskellig art har længe været benyttet som et led i denne strategi. Etablering af gågader og gennemkørselsspærringer samt ensretning vil kunne tilrettelægges og således mere eller mindre ensidigt vendt mod den individuelle biltrafik, kunne tilskynde til benyttelse af kollektive trafikmidler.

Sammenfattende kan det konstateres, at der er en stigende erkendelse af nødvendigheden af at søge den individuelle personbiltrafik i bykernerne reduceret til fordel for kollektivbetjening og gangtrafik, primært i bevidstheden om de prohibitive investeringer, der vil medgå til en udbygning af gadenettet og parkeringsfaciliteterne, men også i erkendelse af, at en sådan udbygning ikke vil være forenelig med bevaring af bykernens historiske atmosfære, bevaringsværdige bebyggelse og menneskevenlige miljø, herunder sikringen af et rimeligt lavt støjniveau.

7.2 Reduktion af trafikbehovet

Minimering af trafikbehovet er et vigtigt punkt i de almindelige byplanmæssige interesser, der søges varetaget gennem fordelingen og lokaliseringen af arealudlæg til forskellige anvendelser, med trafiksystemet og centerfunktionerne som de strukturerende hovedelementer.

Det er endnu i altovervejende grad de ældre købstæders bykerner, der varetager centerfunktionerne. Efterspørgslen efter etageareal har medført en tendens til stignende bebyggelsestæthed, der vil være i grundejernes interesse, sålænge det offentlige afholder en altovervejende del af omkostningerne til de nødvendige udvidel-

7.4 Koncentration af trafikken

Koncentration af gennemgående trafik til et net af primærgader, egnet til afvikling af større trafikmængder, og sideløbende etablering af hindringer for gennemgående trafik i lokalgaderne, der forbeholdes trafik med ærinde i bebyggelsen, har længe været anerkendt som et effektivt middel til forbedring af trafikbetjeningen og nedsættelse af ulykkestallene.

Primærgadenettets lokalisering har hidtil overvejende været dikteret af ønsker om de mindst mulige anlægs- og driftsomkostninger for selve trafik anlægget. Der er dog efterhånden en voksende forståelse for, at disse beregninger må udstrækkes til at omfatte omkostningerne til imødegåelse af de ulemper, som påføres den omgivende bebyggelse, subsidiært omkostningerne forbundet med de nødvendige ændringer af denne bebyggelse. Først herigennem vil man kunne nå til klarhed over de virkelige, totale omkostninger, som disse trafik anlæg indebærer, og derved nå frem til et mere rationelt beslutningsgrundlag for valget mellem alternative linjeføringer, eller helt andre løsninger på trafikproblemerne.

Såfremt den oprindeligt kun trafikalt motiverede differentiering af gadenettet praktiseres på ovennævnte vilkår, vil den resulterende koncentration af støj kilderne også medføre en nedsættelse af støj ulemperne under et inden for de byområder, der bliver berørt rent trafikalt. Lokal gadernes aflastning for gennemgangstrafik medfører helt indlysende støj mæssige forbedringer, og en imødegåelse af de forøgede støj ulemper, som påføres bebyggelsen langs de udpegede aflastningsgader, medfører i det mindste en opretholdelse af status quo.

I praksis vil det ikke sjældent vise sig, at de "ekstra omkostninger", som støj hensynet påfører trafik projekterne, vil udgøre en så stor andel af totalprisen, at de reelle muligheder for samtidig med trafik differentieringen at afse midler til en forøgelse af trafik kapaciteten vil være små.

Virkningen vil kunne forbedres, såfremt skærmene udformes lydabsorberende. Virkningen vil være forringet på strækninger med mange sidevejsindmundinger, hvor hensynet til oversigten vil nødvendiggøre åbninger af ret stor bredde.

Græsbeklædte arealer eller andre former for "bløde" belægninger mellem kørebaner og bebyggelse vil medvirke til en nedsættelse af støjniveauet i lukkede gaderum, eksempelvis visse ældre kvarterer med private forhaver.

Også allétræer vil, i sommerhalvåret, have en vis støjdæmpende virkning som skærm mod bagvedliggende facader.

Parker og andre udendørs opholdsarealer, der ikke ved mellemliggende bebyggelse er beskyttet mod trafikstøjen, vil kunne opnå en ikke uvæsentlig beskyttelse ved opførelse af mure eller andre tætte konstruktioner i vejskel. "Tremmekasser" i trykimprægneret træ, påfyldt tørvesmuld og indplantet med vedbend, er kun en af mange løsninger. Omvendt vil nedrivning af bestående mure omkring ældre parkanlæg, kirkegårde med videre, medføre en væsentlig forringelse af lyd klimaet.

7.6 Afskærmning med bebyggelse

Når der i de bestående byområder trods den intensive trafik stadig findes et utal af lokaliteter med overraskende lave støjniveauer, skyldes det først og fremmest den meget store afskærmende virkning, der ydes af den sammenhængende randbebyggelse, som netop er karakteristisk for de større trafikårer.

Hvis fornyelsen og udtyndingen af den ældre bygningsmasse i disse områder skal undgå at medføre en forringelse af lyd klimaet, må denne randbebyggelse derfor søges opretholdt eller reableret, medmindre de pågældende strækninger vil kunne sikres forbeholdt lokaltrafik af ringe omfang.

Hvor byfornyelsen omfatter større samlede arealer, vil en randbebyggelse mod de omliggende gader således kunne kombineres med en mere fri bebyggelsesdisponering i

ler vil i bestående byområder med kort afstand mellem stærkt trafikerede veje være helt afhængig af mulighederne for udnyttelse af den bebyggelsesafskærmning, der kan opnås i gårdrum med sluttet randbebyggelse. Der skal ikke mange gennembrydninger til, før den støjafskærmende virkning reduceres væsentligt.

En udnyttelse af dele af gårdarealerne til parkerings- og tilkørselsfunktioner vil vanskeligt kunne forenes med uforstyrrede forhold på grund af de talrige muligheder for lydrefleksion. Græs, træer, klatrende planter og lydabsorberende beklædning vil kunne mildne virkningerne noget.

Ud fra teoretiske betragtninger skulle der være visse muligheder for at afskærme gadeorienterede vinduer med særligt udformede bebyggelselementer, såsom udkragede etageadskillelser med lydabsorberende undersider, "omvendte markiser" og andre afskærmninger omkring selve vinduesåbningerne.

Sådanne bygningsdetaljer vil måske kunne tænkes gennemarbejdet arkitektonisk, som det er sket med sol- og lysafskærmninger i lande med intensiv solbestråling.

7.8 Tilrettelæggelse af en generel strategi

Det fremgår af ovenstående gennemgang af mulighederne for bekæmpelse af biltrafikstøjen i de bestående byområder, at nogle foranstaltninger kan gennemføres med hurtig virkning, mens andre først har mulighed for at slå igennem på længere sigt. Endvidere vil nogle foranstaltninger kun have lokal effekt, mens andre vil have effekt over større områder.

Endelig vil en række af de mest effektive midler til forbedring af lydlimaet bero på foranstaltninger, der primært tager sigte på andre forhold med relation til trafik og bebyggelse. For at sikre det bedst mulige udbytte af den samlede indsats mod støjulemperne, må der derfor ske en koordinering.

7.9 Ulemper ved den bestående bystruktur

De fleste byer har udviklet et vejnet med radialstruktur, hvorved de opnåede den høje eksterne tilgængelig-

ger, vejlukninger og omlægninger af kørebaner, vejtilslutninger mm., vil derimod kunne gennemføres ret hurtigt, idet omfanget af investeringer vil være begrænset. Foranstaltninger af denne art har yderligere den fordel, at de vil kunne indføres gradvis og opgives igen, hvis virkningerne ikke skulle vise sig at svare til forventningerne.

Vejene må søges omlagt således, at de enkelte bykvarterers interne veje kun belastes med tilbringertrafik, det vil sige med ærinde på stedet, mens den gennemgående trafik henvises til et primært vejnet, der afgrænser og adskiller bykvartererne.

Mulighederne for i praksis at reducere støjulempene alene ved omlægning af trafikken til et differentieret vejsystem vil bero på, om der vil kunne udpeges de fornødne vejstrækninger med en tilnærmelsesvis netorienteret beliggenhed, tilstrækkelig kapacitet, tilstrækkelig støjtålede omgivelser og muligheder for regulering af vejtilslutninger og udkørsler i overensstemmelse med klassifikationen.

Inden for bykernen

Inden for bykernen vil udbygning af vejstrækninger egnet til at indgå i det primære net som regel forudsætte omfattende indgreb i den bestående bygningsmasse.

Da en bykernes dimensioner sjældent er større end en maske af rimelig størrelse i det primære vejnet, vil det ofte være tilstrækkeligt at etablere primærvejstrækninger i bykernens periferi som større eller mindre dele af en "indre ring" eller som tangenter. Sikring mod gennemkørsel vil kunne ske ved udlæg af gågader, ved ensretning, ved spærringer eller ved trafikale restriktioner.

Da periferien ofte rummer arealreserver eller ældre, mindre værdifuld bebyggelse, skulle der være gode muligheder for lidt efter lidt at tilpasse arealanvendelsen til den ændrede fordeling af støjbelastningen, med de mest trafikgenerende funktioner lokaliseret til bykernens periferi, og de mest følsomme til de indre dele.

I de indre forstæder

I de indre forstæder med blandet bebyggelse, der om-

forhold, med mindre der er plads til lokalkørebaner. Støjproblemerne må i øvrigt søges forbedret ved bygningsisolering eller på længere sigt ved nedrivning, hvor der er tale om mindre værdifuld ældre randbebyggelse.

7.11 Eksempler fra praksis

Ved planlægning af nye byområder vil der være mulighed for at udforme vejsystemet i snæver sammenhæng med arealanvendelsen og bebyggelsen.

Et velformet konsekvent differentieret vejnet og en konsekvent gruppering af arealanvendelsen efter behov for tilgængelighed og beskyttelse i forhold til vejnettet er karakteristisk for planlægningen af et nyt bykvarter vest for Værløse, figur 7.1.

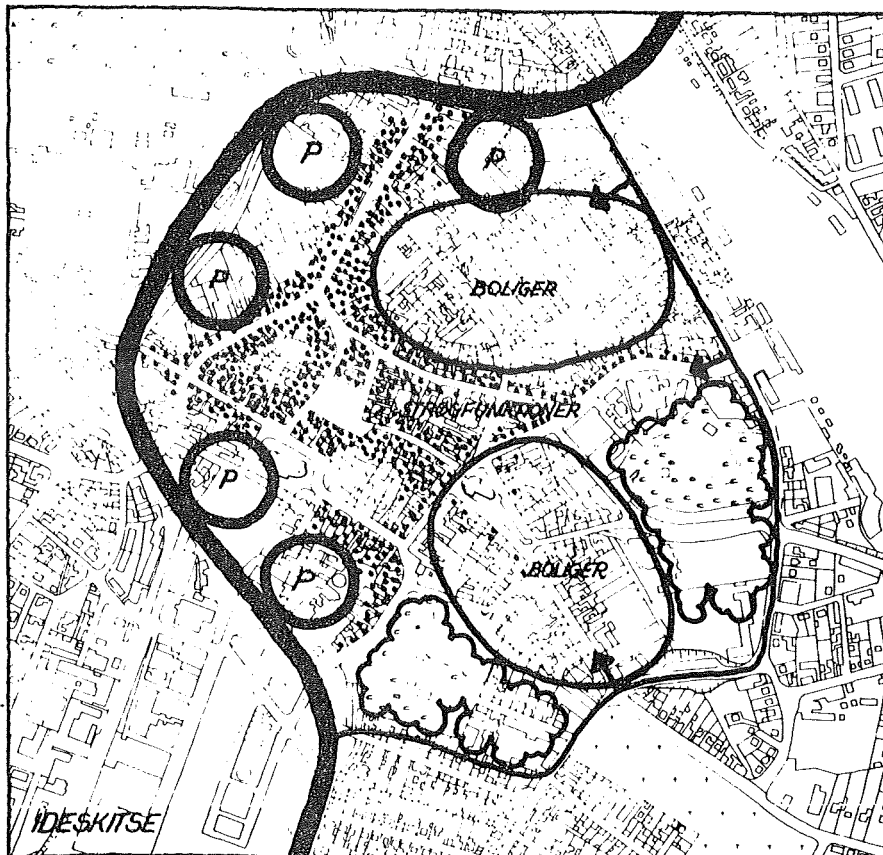


Figur 7.1 Trafikdiagram.

Med kun en tilslutning til det overordnede vejnet er kvarteret sikret mod gennemgående trafik, og ved planlægning af den ringformede fordelingsvej i kvarterets periferi vil kvarterets indre opnå den bedst mulige støjbeskyttelse, idet alle adgangsveje til bebyggelsen er udformet som blindveje.

Kvarterets midte med det laveste støjniveau er udlagt til fællesgrønning, omgivet af områder med tæt, lav bebyggelse, der yderligere afskærms mod støjen fra

heraf fastholdes boligkvartererne i bykernens østlige side, og tyngdepunktet for de nuværende strøggader trækkes mod vest, hvor parkeringsanlæg vil kunne etableres i periferien. De centrale strøggader udlægges til gågader. Boligerne trafikbetjenes fra en sekundær østlig "fordelerring".

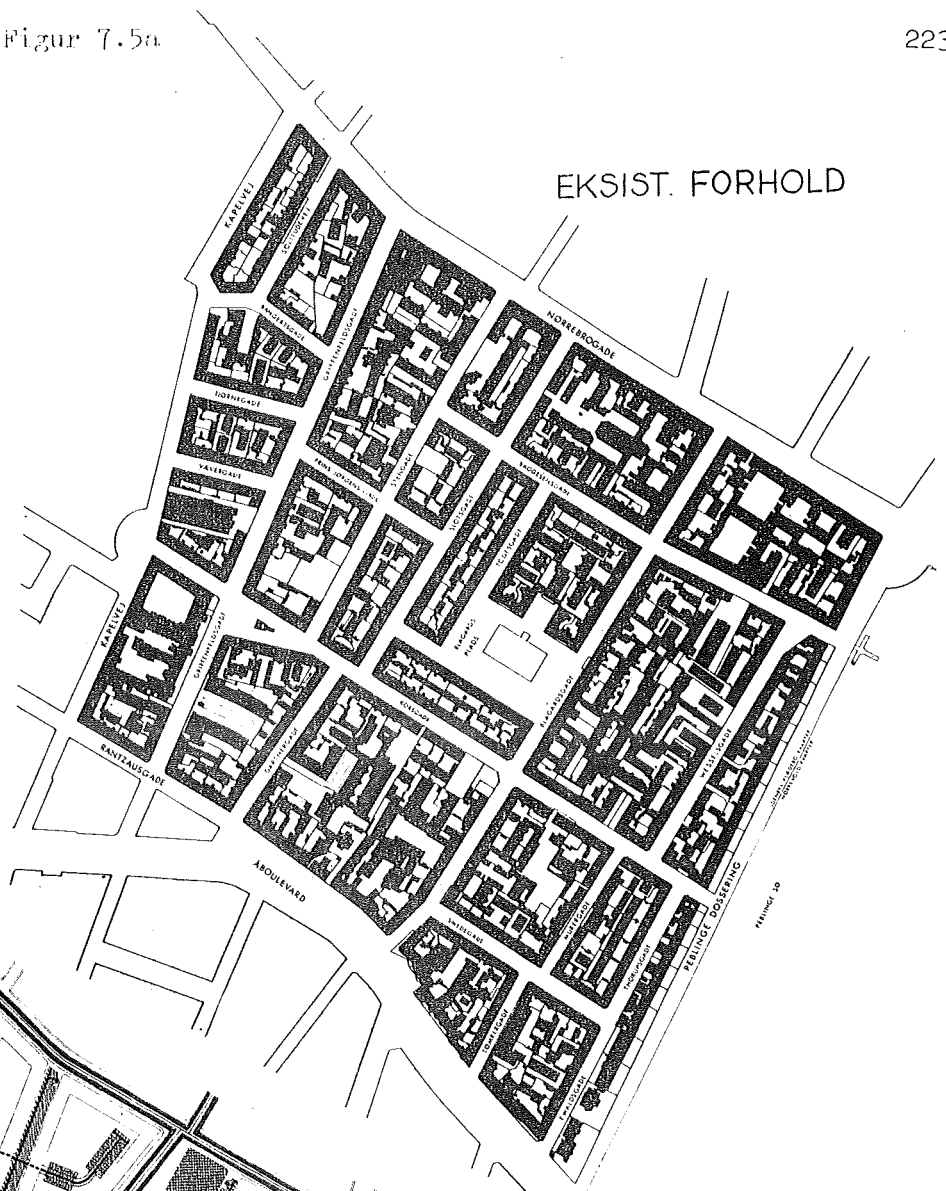


Figur 7.3 Dispositionsplan for Næstved bykerne.

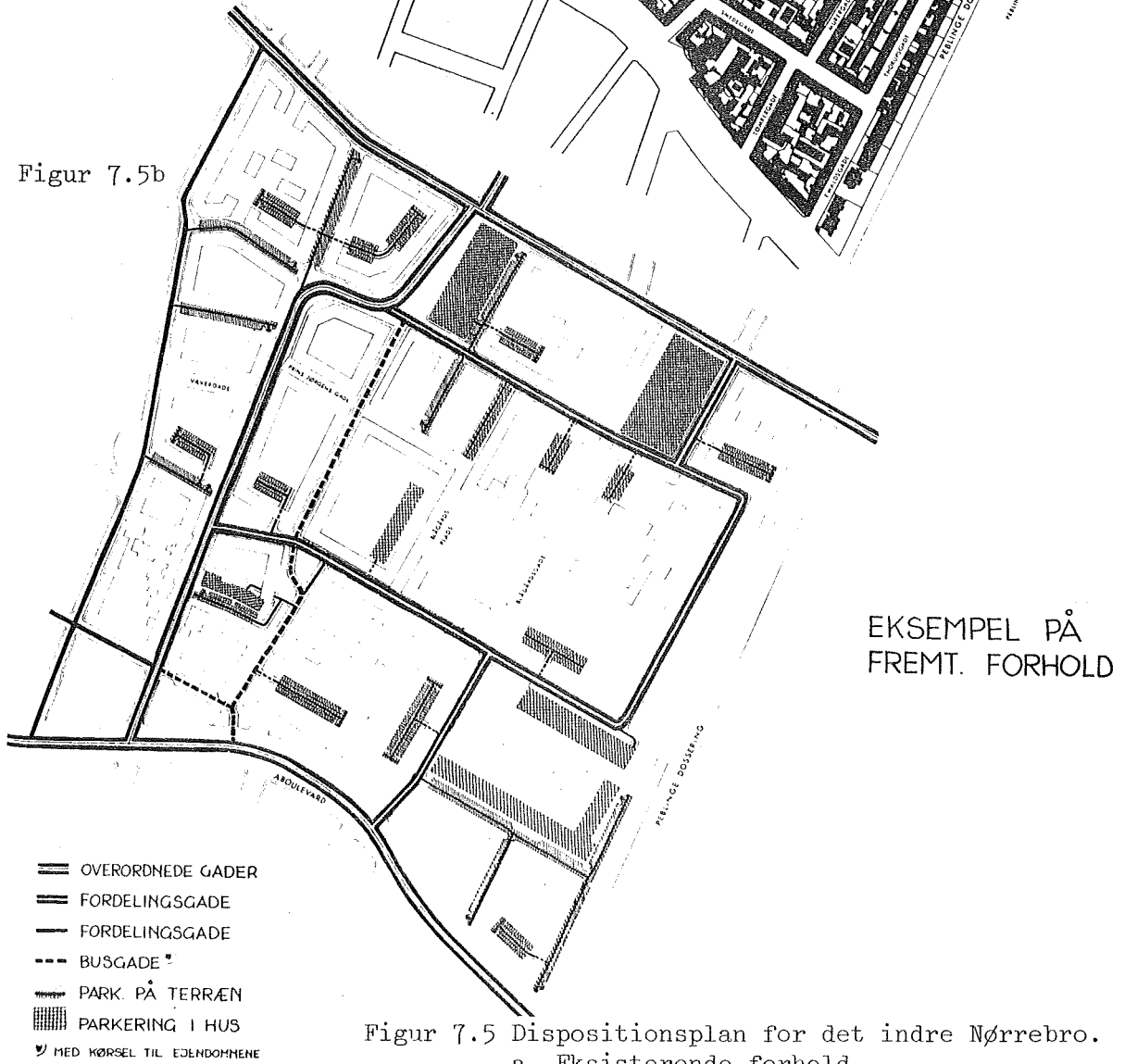
Også denne skitse tager sigte på at bringe vejssystemet i bedst mulig overensstemmelse med arealanvendelsen, således at behovet for tilgængelighed og beskyttelse tilgodeses.

Figur 7.4 viser et eksempel på trafikanlæg i et bestående villakvarter. Den gennemgående trafik kanaliseres til kvarterets periferi, og de interne veje afbrydes til fordel for et stinet, der åbner direkte forbindelse til skole og center.

Støjulemperne i kvarterets indre vil herigennem blive nedsat betydeligt, mens bebyggelsen langs periferien vil blive udsat for øgede ulemper. En liberalisering af anvendelsesbestemmelserne ville rent støjmæssigt være et middel til nedsættelse af disse ulemper.



Figur 7.5b



- == OVERORDNEDE GADER
- == FORDELINGSGADE
- FORDELINGSGADE
- - - BUSGADE
- ▨ PARK PÅ TERRÆN
- ▨ PARKERING I HUS
- ⤵ MED KØRSEL TIL EJENDOMMENE

Figur 7.5 Dispositionsplan for det indre Nørrebro.
 a. Eksisterende forhold.
 b. Eksempel på fremtidige forhold.

8. LITTERATUR

- American National Standards Institute. 1969.
ANSI 3.5. Methods for the Calculation of the Articulation Index.
New York.
- Baerwald, John E. 1965.
Traffic Engineering Handbook.
Institute of Traffic Engineers, Washington D.C.
- Benjegård, S.O. 1972.
Trafikbuller i stadsmiljö.
(Foredragsmanuskript).
Nordisk Akustik Selskabs møde i Otaniemi.
- Beranek, L.L. 1947.
Airplane Quieting II - Specification of Acceptable Noise Levels.
Transaction ASME, Vol. 67, s. 97-100.
American Society of Mechanical Engineers, (b).
- Beranek, L.L. 1947.
The design of speech communication systems.
Proc.Inst. of Radio Engrs. Vol. 35.
- Beranek, L.L. 1950.
Noise control in offices and factory spaces.
15th Annual Meeting Chem. Engineering Conference
Transaction Bulletin, Vol. 18. s. 26-33.
- Beranek, L.L. 1954.
Acoustics.
McGraw-Hill Book Company, New York.
- Boligministeriets kommitterede i byplansager. 1972.
Modeller for købstadsfornyelse. København.
- Bolt, Beranek & Newman Inc. 1967.
Noise in urban and suburban areas: results of field studies.
U.S. Dept. of Housing and Urban Development.
Washington D.C.
- Bruckmayer, F. & Lang, J. 1967.
Störung der Bevölkerung durch Verkehrslärm.
Österreichische Ingenieur-Zeitschrift,
Band 10, Heft 8, s. 302-305,
Heft 9, s. 338-344,
Heft 10, s. 376-385.
- Cederlöf, R., Jonsson, E., Sörensen, S. 1967.
On the influence of attitudes to the source on annoyance reactions to noise.
Nordisk Hygienisk Tidskrift, Band 48, Häfte 2, s. 46-59.
- Cowiconsult. 1973.
Rapport vedr. støjafskærmning.
Vejdirektoratet, København.

- Fasold, W. 1965.
Zur Bewertung der Schalldämmung von Fenstern.
Proceedings 5^e Congrès International d'Acoustique.
Paper H67, Liège.
- Fleischer, F. 1970
Zur Anwendung von Schallschirmen.
Lärmbekämpfung, Heft 6, s. 131-136.
- Ford, R.D. and Kerry, G. 1973.
The sound insulation of partially open double glazing.
Applied Acoustics, Vol 6, no. 1, s. 57-72.
- Furrer, W. 1961.
Raum - und Bauakustik, Lärmabwehr.
Birkhäuser Verlag, Basel & Stuttgart.
- Gjerding & Larsen/Hoff & Overgaard. 1971.
Bykerne og aflastningscenter.
Helsingør Kommune.
- Greater London Council, 1970.
Traffic Noise, Major Urban Roads.
Urban Design Bulletin 1. London.
- Griffiths, I.D. and Langdon, F.J. 1968.
Subjective response to road traffic noise.
Journal of Sound and Vibration, Vol. 8, no. 1, s. 16-32.
- Harland, D.G. 1970.
Noise research and the Road Research laboratory.
Traffic Engineering & Control, s. 122-131.
- Ingemansson, S. 1968.
Ljudisolerande fönsterkonstruktioner.
Rapport 3/68.
Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm.
- Ingemansson, S. och Ljunggren, S. 1970.
Bullerproblem vid Trafikleder.
Rapport R 20.
Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm.
- Ingemansson, S. 1971.
Byggnadens isolering mot vägtrafikbuller.
Symposium om vejtrafikstøj.
Lydteknisk Laboratorium, ATV, Lyngby.
- Ingemansson, S. 1973.
Insulation against traffic noise.
Proc. Inter.-noise 73, Copenhagen.
- Ingerslev, F. og Kjerbye Nielsen A. 1944.
On the transmission of sound through small apertures
and narrow slits.
Ingeniørvidenskabelige skrifter, nr. 5, København.
- International organization for Standardization. 1966.
ISO/R507 Procedure for describing aircraft noise
around an airport.
Geneve

- Lamure, C. et Bacelon, M. 1967.
La gêne due au bruit de la circulation automobile.
Cahier du Centre Scientifique et Technique
du Batiment, N^o 88, no. 762, Paris.
- Lange, P.A. de, 1969.
Sound insulation of glazing with respect to traffic
noise.
Applied Acoustics, Vol. 2, no. 3, s. 215-236.
- Lindquist, Thomas. 1972.
Gatutrafikbuller och ljudabsorberande fasader.
Del 1: Teori och mätningar.
Rapport 3.
Rockwool AB's utvecklingslaboratorium, Göteborg.
- Ljunggren, S., Ingemansson, S. 1971.
Projektering med hänsyn till vägtrafikbuller.
Byggmästeren, Häfte 12, s. 22-28.
- Ljunggren, S. 1973.
Sound insulation of windows with respect to traffic
noise.
Rapport 46/73.
Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm.
- Lydteknisk Laboratorium. 1974.
København. (upublicerede måleresultater).
- Maekawa, Z. 1968.
Noise reduction by screens.
Applied Acoustics, Vol. 1, no. 3. s. 157-173.
- Marsh, J.A. 1971.
The airborne sound insulation of glass.
Applied Acoustics, Vol. 4, no. 1, s. 55-70.
- - - no. 2, s. 131-154.
- - - no. 3, s. 175-191.
- Rathe, E.J. 1966.
Über den Lärm des Strassenverkehrs.
ACUSTICA, Vol. 17, s. 268-277.
- Rathe, E.J. 1969.
Note on two common problems of sound propagation.
Journal of Sound and Vibration, Vol. 10, no. 3, s. 472-
479.
- Rindel, J.H. 1971.
Facades lydisolation. (Eksamensarbejde).
Laboratoriet for Akustik,
Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby.
- Ringheim, M. 1972.
Noise from road traffic.
A survey of research activities at Akustisk Labora-
torium.
Rapport LBA 519.
Norges Tekniske Højskole, Trondheim.

Stephenson, R.J. and Vulkan, G.H. 1968.
Traffic Noise
Journal of Sound and Vibration, Vol. 7, no. 2. s. 247-262.

Juliussen, Karsten; Karlsdottir, Ragnar; Klinkby, Ole Søgård og Poulsen, Anders Aagaard. 1973.
Støjberregning i Odense (afløsningsopgave).
Instituttet for Vejbygning, Trafikteknik og Byplanlægning.
København.

Nordisk Komité for bygningsbestemmelser, 1966.
Støj og Byplan. Praktiske anvisninger.
København.

Nordisk Komité for bygningsbestemmelser, 1971.
Støj og Byplan. Praktiske anvisninger.
NKB-skrift nr. 17. København.

Sörensen, S. 1971.
Ljudets inverkan på människan.
Notat fra Svenska Teknologföreningen -
Ingenjörersförbundet's kurs "Vägtrafikbuller".
Stockholm.

Teknisk Forlag, 1968.
Trafikregulering i byer.
København.

Thiessen, G.J. 1969.
Effect of Noise from Passing Trucks on Sleep.
National Research Council, Ottawa.
(Privat korrespondence, 1974).

Thiessen, G.J. 1972.
Noise Interference with Sleep.
National Research Council, Ottawa.
(Privat korrespondence, 1974). (a)

Thiessen, G.J. 1972.
Effect of Noise on Sleep.
Summary of paper presented at Miami, dec. 1.
(Privat korrespondence, 1974). (b)

Thiessen, G.J. 1973.
Shift in level of sleep due to noise of four different durations in four laboratories.
National Research Council, Ottawa.
(Diagram 1 side, privat korrespondence, 1974).

Thiessen, G.J., Olson, N. 1968.
Community noise - surface transportation.
Sound and Vibration, Vol. 2, nr. 4, s. 10-16.

Vejdirektoratet. 1970.
Trafikanalyse omkring Ålborg og Nørresundby. Den 22. april 1969.
København.