



Støj og lydisolations

KLIMASKÆRMENS LYDFORHOLD

Ved civilingeniør Jørgen Kristensen og akademiingeniør Jørn Kjær

RESUMÉ:

Notatet redegør for de fysiske forhold, som knytter sig til lydisolations og for de metoder, der anvendes til måling og vurdering af bygningskomponenters lydisolations. Endvidere gøres der rede for støjniveauets betydning for lydisolations med henblik på opstilling af forslag til eventuelle krav for facaders lydisolations.

For at sikre tilfredsstillende indendørs støjniveauer må der stilles funktionskrav til hele klimaskærmens lydisolations. Facaders og tages lydisolations baseret på måling i laboratorium efter de standardiserede metoder og vurderet efter de almindeligt benyttede principper kan ikke umiddelbart forventes at give relevante resultater i relation til isolations mod trafikstøj.

En række forskellige yderkonstruktioners lydisolations er vurderet i relation til trafikstøj. Af de fremkomne resultater er der opstillet et udtryk, hvorefter isolations med rimelig nøjagtighed kan angives ved det i bygningsreglementet af 1977 anvendte begreb, indeks for luftlydisolations, I_a .

De fleste vinduer med god lydisolations har som regel også en god varmeisolations. Det vil derfor være naturligt at samordne krav til facaders lyd- og varmeisolations. For vinduers vedkommende vil en DS-mærkningsordning med hensyn til lydisolations og eventuelt varmeisolations være en praktisk løsning på et ellers vanskeligt administrerbart problem. En sådan ordning findes allerede for entrédøre, hvor mærkningen omfatter brandmodstand og lydisolations.

BYGGERIETS AKUSTISKE MÅLESTATION, maj 1978

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 3
- 5 JULI 1978

00748 P

YDERLIGERE OPLYSNINGER KAN FÅS VED HENVENDELSE TIL:

Forfatterne

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.

Resumé	side 1
Problemstilling	3
Klimaskærmens lydisolation	6
Ydervægge	11
Tunge vægge	11
Lette vægge	11
Tage og lofter	13
Vinduer	15
Måling og vurdering af komponenters luftlydisolation	21
Måling i laboratorium	22
Måling i bygninger	24
Måling med højttaler som lydkilde	24
Måling med trafikstøj som lydkilde	25
Vurdering af måleresultater	25
Støjniveauet uden og inden for klimaskærmen	27
Måling af støjniveau	27
Beregning af støjniveau	28
Støjniveau uden for bygninger	28
Støjniveauet inde i bygninger	30
Krav til klimaskærmen eller til støjniveauet, ...	31
Støjniveau	31
Lydisolation	32
Model for krav til klimaskærmens lydisolation og følgerne af eventuelle krav	32
Lydisolationen for nogle ydervægge, tage og vinduer	32
Sammenhæng mellem $\Delta L(A)_{eq}$ og I_a	34
Formulering af krav til brug i byggebestemmelser	39
Byggerier der bør omfattes af eventuelle krav .	40
Implementering af eventuelle krav om lydisolation	40
Prisen for lydisolation	41
Nogle konsekvenser af eventuelle krav til facaders lydisolation	42
Litteratur	44
Artikler og rapporter	44
Normer, reglementer m.v.	46

Problemstilling

Et af de store miljøproblemer i et bysamfund er trafikstøjproblemet. Det opleves daglig af mange mennesker som det mest nærværende og generende.

Den støjbelastning, som en stor del af bebyggelserne i større byer er udsat for, overstiger langt det støjniveau, 55 dB(A), der anses som øvre grænse for acceptable forhold. I bygningsreglementet stilles der i øjeblikket ingen krav til klimaskærmens lydisolations. Med krav til klimaskærmens lydisolations, når støjniveauet udendørs overstiger 55 dB(A), kan trafikstøjen i bygninger sikres nedbragt til et acceptabelt niveau svarende til de krav, reglementet i øvrigt stiller med hensyn til støj fra installationer i boliger.

Under indtryk af den herskende energisituation sker der for tiden en omvurdering af det hidtidige syn på bygningsisolering i retning af at opnå en bedre varmeisolation. Denne omvurdering er udmøntet som krav i bygningsreglementet med ikrafttræden fra 1979. En forbedring af klimaskærmens varmeisolation kan uden væsentlige meromkostninger koordineres med en forbedring af dens lydisolations. Det vil derfor være rimeligt at benytte kommende ændringer af klimaskærmens varmeisolation til samtidig at forbedre dens lydisolations.

Den Nordiske komite for bygningsbestemmelser, NKB, havde da også ovennævnte forhold for øje, da den i 1976 gav sit akustikudvalg i kommissorium at udarbejde forslag til fællesnordiske bestemmelser for facaders lydisolations over for trafikstøj. Dette udvalg har nu afsluttet sit arbejde med fremlæggelse af et sådant forslag.

Formålet med det foreliggende notat er blandt andet at redegøre for de overvejelser, der ligger til grund for forslaget. Indledningsvis resumeres de overvejelser, der er foretaget og konklusionen heraf, nemlig selve forslaget.

De første overvejelser gjaldt, hvorledes bestemmelser for facaders lydisolations mest hensigtsmæssig kunne udformes, når der foruden de rent funktionelle forhold,

støjniveauet i boliger, også skulle tages hensyn til mulighederne for rationel projektering og kontrol. Alle forhold taget i betragtning, syntes det mest hensigtsmæssigt, at bestemmelserne blev udformet gennem krav til facadens lydisolations $I_{a,lab}$. Herved åbnes også mulighed for en klassifikationsordning for facadekomponenter i lighed med den, som gælder for døre. Det skal i den forbindelse nævnes, at en eventuel klassifikationsordning for facadekomponenter især vil få betydning for vinduer, da disse som oftest er de svageste og dermed afgørende led med hensyn til facaders lydisolations.

Det blev dernæst overvejet, hvorledes facaders lydisolations bedst kunne vurderes og karakteriseres, når hensyn skulle tages til trafikstøjens frekvenssammensætning. Da trafikstøj hovedsagelig domineres af støj ved lave frekvenser, var det ikke givet, at den vurdering, som i dag anvendes i BR-77 i forbindelse med interne skillevægges lydisolations, umiddelbart kunne anvendes ved vurdering af facaders lydisolations. BAM foretog derfor forskellige vurderinger af reduktionstallene for i alt 69 bygningskomponenter, der fordelte sig nogenlunde ligeligt på ydervægs-, vindues- og tagkonstruktioner. De forskellige vurderinger bestod i en forskellig vægtning af komponenternes reduktionstal ved lave frekvenser. Resultatet af denne analyse viste, at forskellen mellem de forskellige vurderinger praktisk talt var konstant. Det fandtes derfor mest hensigtsmæssigt at anvende den vurdering, som allerede anvendes i BR-77 ved vurdering af skillevægges lydisolations. Ved denne vurdering karakteriseres luftlydisolationen ved et enkelt tal, indeks for luftlydisolationen I_a . Da kravet til facaders lydisolations nødvendigvis må afhænge af støjniveauets størrelse uden for facaden, blev sammenhængen mellem luftlydisolationen I_a for de ovenfor omtalte 69 bygningskomponenter og det eksterne og interne støjniveau undersøgt. Det kunne på forhånd siges, at der ikke var nogen entydig, matematisk sammenhæng mellem disse størrelser. På grundlag af resultaterne fandtes følgende empiriske udtryk for sammenhængen:

$$I_a = L(A)_{eq,u} - L(A)_{eq,i} - 10 \log \frac{A}{S} + 5 \text{ dB} \quad (1)$$

hvor $L(A)_{eq,u}$ er det konstante, døgnækvivalente støjniveau i dB(A) 2 m foran facaden.

$L(A)_{eq,i}$ er det konstante, døgnækvivalente støjniveau i dB(A) i modtagerummet bag facaden.

A er det ækvivalente absorptionsareal i modtagerummet.

S er facadens areal set fra modtagerummet.

I praksis er forholdet $\frac{A}{S}$ ret konstant for møblerede rum, og udtrykket (1) oven for kan derfor med god tilnærmelse skrives:

$$I_a = L(A)_{eq,u} - L(A)_{eq,i} + 4 \text{ dB} \quad (2)$$

Med udgangspunkt i ønsket om et internt støjniveau i boliger på ikke over 30 dB(A) er der foreslået følgende bestemmelser for facaders lydisolationsafhængighed af det eksterne støjniveau $L(A)_{eq,u}$:

I boligbyggeri skal facadens luftlydisolation være større end de i tabellen angivne værdier afhængig af det udenørs støjniveau.

Døgnækvivalentniveauet ^{x)} udenørs i $L(A)_{eq(24)}$ dB(A)	Facadens lydisolations I_a dB
≤ 55	25
56-60	30
61-65	35
66-70	40
71-75	45
≤ 76	50

x) Ved døgnækvivalentniveauet $L(A)_{eq}$ forstås her det ækvivalente, konstante støjniveau i dB(A) 2 m foran facade.

I forslaget er bestemmelserne for facaders lydisolationsudformet som krav til I_a -værdien, svarende til lydisola-

tionskravene i de danske, svenske og finske bygningsbestemmelser om lydforhold og i overensstemmelse med ISO/R717.

Ved fastsættelse af forslagets værdier, der må betragtes som mindsteværdier, har udgangspunktet været, at et støjniveau på 55 dB(A) op til facaden er øvre grænse for det acceptable udendørs støjniveau. I de tilfælde, hvor støjniveauet overstiger 55 dB(A), foreslås facaders lydisolations fastsat således, at der opnås et indendørs støjniveau på ca. 30 dB(A). Erfaringer viser, at indendørs støjniveauer over ca. 35 dB(A) er uacceptable. Da trafikstøjniveauet udendørs om natten i almindelighed ligger ca. 5 dB under døgnækvivalentniveauet, vil støjniveauet indendørs om natten blive ca. 5 dB lavere end om dagen, dvs. ca. 25 dB(A).

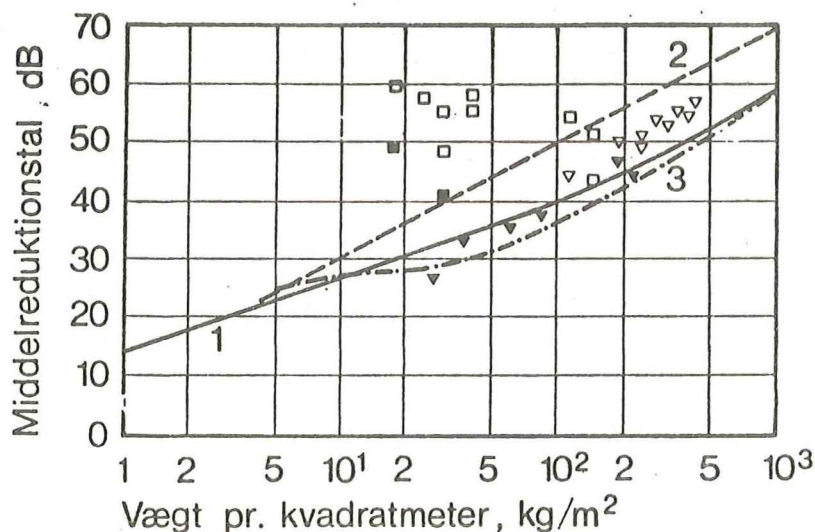
I almindelighed vil de foreslåede mindste værdier for facaders lydisolations i virkeligheden være gældende for de i facaden indgående vinduer. Det skyldes, at ydervægge som regel har en lydisolations, der er 5-10 dB højere end vinduers lydisolations.

Det har været intentionerne bag forslaget, at overholdelse af bestemmelserne i praksis fortrinsvis baseres på en klassifikation af vinduers lydisolations målt i laboratoriet, i lighed med den gældende klassifikationsordning for lyddøre, og mindre på egentlige kontrolmålinger.

Klimaskærmens lydisolations

Ydervægges, tages og vinduers lydisolations bestemmes af de samme faktorer, som bestemmer indervægges lydisolations. I første tilnærmelse bestemmes lydisolations af bygningsdelenes vægt pr. arealenhed, se figur 1.

Lydisolations afhænger endvidere af frekvensen. Ved en forenklet betragtning vokser lydisolations 6 dB ved fordobling af frekvensen. Bygningsdelenes bøjningsstivhed indvirker også på lydisolations, idet bøjningsstivheden og vægten pr. arealenhed delvis ophæver hinanden i nogle frekvensområder, koïncidensområder, hvorved lydisolations nedsættes i disse frekvensområder. Beliggenheden af

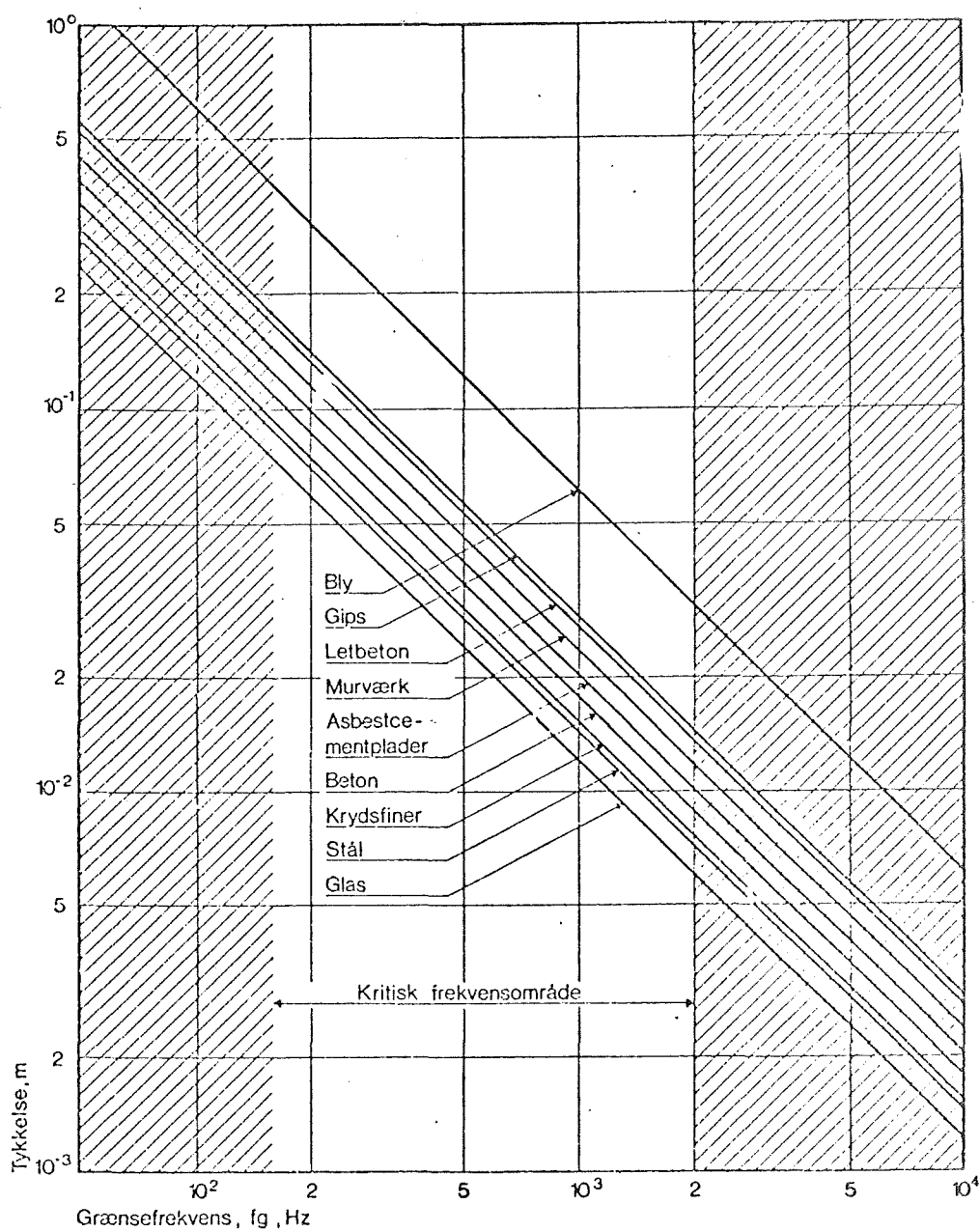


- ▽ Massive vægge med $f_g < 100$ Hz
- ▽ Massive vægge med $f_g > 160$ Hz
- Dobbeltvægge med lydabsorberende indlæg
- Dobbeltvægge uden lydabsorberende indlæg

Figur 1. Middelreduktionstallet som funktion af vægten pr. m². 1: Empirisk bestemt. Kurven betegnes ofte som "vægtkurven". 2: Beregnet efter simplificeret teori. 3: Beregnet med hensyntagen til koincidens.

frekvensområderne er bestemt af sammenfald, koincidens, mellem bølgelængden for frie bøjningsbølger i bygningsdelens materiale og bølgelængden for lydbølger i luft, når bølgelængden antiprojiceres på bygningsdelen. For et materiale med en given tykkelse er der flere mulige koincidensområder afhængig af indfaldsvinklen. Der findes en frekvens, hvorunder koincidens ikke finder sted, Denne frekvens kaldes for grænsefrekvensen f_g . Den væsentligste nedsættelse af lydisolations sker i området omkring grænsefrekvensen, derfor bør den ligge uden for frekvensområdet 90-3500 Hz. Det fører imidlertid ofte til uacceptable konstruktionstykkelser, se figur 2, hvor det mest kritiske isolationsområde er angivet.

Ved at udføre bygningsdele som dobbeltkonstruktioner kan lydisolationsen forøges betydeligt, der kan i praksis opnås 15 til 20 dB større lydisolations end angivet ved den

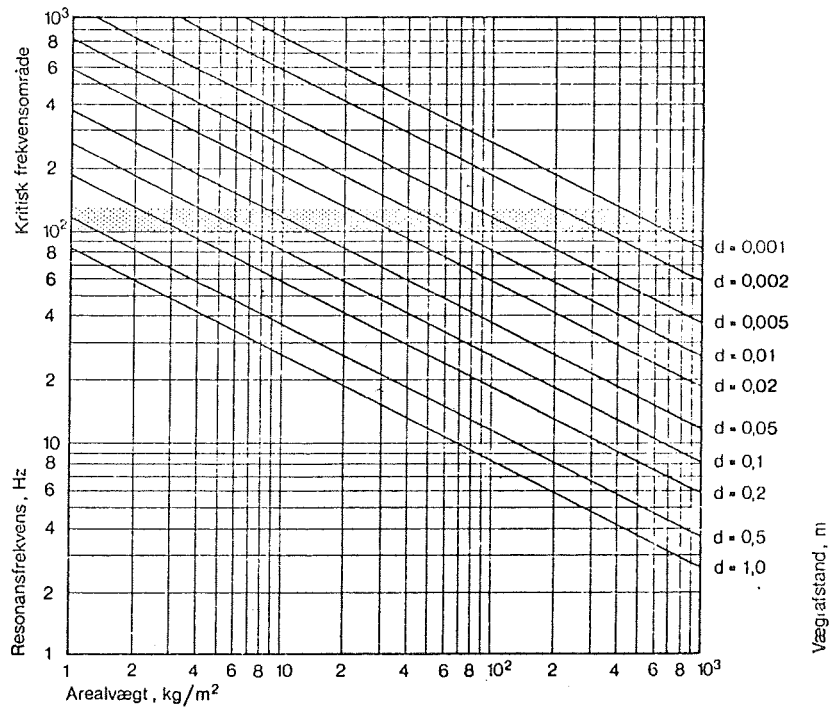


Figur 2. Grænsefrekvensen f_g for frie bøjningsbølger i massive plader som f_g funktion af pladetykkelsen og med pladematerialet som parameter.

i figur 1 viste "vægtkurve", når dobbeltkonstruktionens to dele er helt adskilte. Den opnåelige merisolation afhænger også af afstanden mellem dobbeltkonstruktionens to adskilte dele.

De to adskilte dele og det mellemliggende luftmelletrum udgør et svingningssystem, der fysisk set svarer til to masser forbundet med en fjeder, hvor fjederen udgøres af luftmelletrummet. Et sådant system har en resonansfrekvens,

der bør ligge under 90 Hz, idet lydtransmissionen vokser i området omkring resonansfrekvensen, hvilket betyder mindre lydisolation. Resonansfrekvensen kan findes i figur 3. Når $m \cdot d$ er større end 1,0, hvor m er vægten i kg



Figur 3. Resonansfrekvens f_r for dobbeltvægge udført med to ens enkeltvægge angivet som funktion af vægten pr. kvadratmeter enkeltvæg og med afstanden d mellem de to enkeltvægge som parameter. Resonansfrekvensen for en let væg opsat på eller foran en tung væg kan findes ved at indsætte den lette vægs vægt og anvende den dobbelte afstand mellem let og tung væg.

Eksempel 1. Dobbeltvægge med to ens enkeltvægge, vægt 50 kg/m^2 , opsættes med en indbyrdes afstand på 50 mm . I diagrammet findes for 50 kg/m^2 og $0,05 \text{ m}$ en resonansfrekvens på ca. 55 Hz . Da denne er mindre end 90 Hz , er konstruktionen i orden med hensyn til resonans.

Eksempel 2. En 150 mm massiv betonvæg forsynes med forsatsvæg af to lag 13 mm gipsplade, vægt 21 kg/m^2 på et 45 mm stålskelet, som er opsat 10 mm foran væggen. I diagrammet findes for 21 kg/m^2 og $2 \times 0,055 \text{ m}$ en resonansfrekvens på ca. 55 Hz . Da denne er mindre end 90 Hz , er konstruktionen i orden.

Eksempel 3. Foran 250 mm massiv murstensvæg skal anbringes en forsatsvæg med en 12 mm plade, vægt 7 kg/m^2 . Der tilstræbes en resonansfrekvens under 90 Hz . I diagrammet findes for 90 Hz og 7 kg/m^2 en afstand på ca. $0,12 \text{ m}$. Dette er imidlertid den dobbelte afstand. Afstanden mellem forsatsvæggen og murstensvæggen, skal derfor mindst være 60 mm .

pr. kvadratmeter af den letteste af en dobbeltkonstruktions to dele og d afstanden i meter mellem de to konstruktionshalvdele, vil resonansfrekvensen være mindre end 90 Hz.

Lydisolationen kan angives ved reduktionstallet, der principielt forudsætter, at lydtransmissionen kun sker gennem den adskillende bygningsdel. I praksis benyttes betegnelsen også, når der forekommer transmission gennem omliggende bygningsdele. Der skelnes derfor mellem reduktionstallet R og det tilsyneladende reduktionstal R' . Ved målinger i bygninger anvendes det tilsyneladende reduktionstal. Reduktionstallet kan angives som funktion af frekvensen eller ved middelværdien R'_m af reduktionstallene ved 16 tredjedels oktavfrekvenser. En empirisk bestemmelse af R'_m er angivet i figur 1. For nogle konstruktioner er der i praksis ingen forskel mellem R' og R , dvs. at laboratorieværdier kan være direkte anvendelige i praksis. Det gælder for vinduer og flere lette konstruktioner, når de indsættes i bygningen således, at lydtransmission kun kan ske gennem den betragtede bygningsdel. I bygningsreglementet BR-77 anvendes indeks for luftlydisolation til at karakterisere luftlydisolationen. Størrelsen af I_a findes ved, at R' vurderes i forhold til et standardiseret frekvensforløb. I_a er gennemsnitlig 2 dB højere end middelreduktionstallet. Som et groft skøn over størrelsen af indeks for luftlydisolationen for massive enkeltkonstruktioner kan anvendes værdier fra "vægtkurven" i figur 1 plus 2 dB.

Lydisolationen for en bygningsdel, som er sammensat af flere komponenter, fx en væg med døre og vinduer, kan beregnes af følgende udtryk:

$$R_s = 10 \log \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{S_1 10^{\frac{(-R_1)}{10}} + S_2 10^{\frac{(-R_2)}{10}} + \dots + S_n 10^{\frac{(-R_n)}{10}}} \text{ dB} \quad (3)$$

hvor R_s er reduktionstallet for en sammensat konstruktion bestående af n komponenter med reduktionstallene R_1, R_2, \dots, R_n og de respektive arealer S_1, S_2, \dots, S_n . Ved en korrekt beregning baseret på reduktionstallet som funktion af frekvensen for alle komponenter, skal beregningen

af R_s udføres ved 16 tredjedelsoktavfrekvenser. Herefter kan I_a -værdien for den sammensatte bygningsdel beregnes.

Ydervægge

Ydervægge kan lydteknisk set opdeles i to grupper, der i det væsentlige svarer til de byggetekniske betegnelser tunge og lette vægge. Lydisolationen er uafhængig af, om væggene er bærende eller ikke. Det er derimod af stor betydning for vægges lydisolation, om de er helt tætte eller ikke.

Tunge vægge

Tunge ydervægge af beton eller mursten kan udføres med formure af mursten og bagvægge af mursten, beton, letbeton, eller med forstøbning og bagstøbning af beton. Væggene betegnes både varmeteknisk og byggeteknisk som dobbeltkonstruktioner, men lydteknisk set virker de i de fleste tilfælde som enkeltkonstruktioner. For lydteknisk at virke som dobbeltvægge skal enkeltvæggene være helt adskilte uden bindere også ved tag og fundament. Tunge ydervægges luftlydisolation afviger kun lidt fra den i figur 1 angivne afhængighed mellem middelreduktionstal og vægt. Der kan dog forekomme afvigelser både i positiv og negativ retning. I Figur 4 findes en oversigt over nogle benyttede murstens- og betonvægges luftlydisolation angivet ved skønnede I_a -værdier.

Lette vægge

Lette ydervægge består almindeligvis af skeletkonstruktioner med stolper af træ, hvorimellem der er anbragt varmeisoleringsmateriale. Skeletkonstruktionerne er i de fleste tilfælde beklædt med gips-, træfiber- eller spånplader på indersiden og med vandfaste plader på ydersiden, fx eternit. Lydisolationen for sådanne konstruktioner overstiger sjældent $I_a = 35$ dB. Moderne facadekomponenter har generelt ringere vægt og dermed følger normalt også lav lydisolation, se figur 4. Med disse facadevægge vil eventuelle ønsker om senere at forbedre lydisolationen medføre, at der må opsættes forsatsvægge for at opnå en lydisolation, som svarer til den, der kan opnås med tunge vægge ved at forbedre vinduer-

Luftlydisolation I_a	Ydervægge
$25 \text{ dB} \leq I_a < 30 \text{ dB}$	<p>Enkeltvæg med vægt på 25 kg/m^2</p> <p>Lamelvæg: Pladebeklædning eternit, udvendig 6 mm, indvendig 8 mm indlæg 100 mm mineraluld 100 kg/m^3, fibre vinkelret på væggen</p>
$30 \text{ dB} \leq I_a < 35 \text{ dB}$	<p>Enkeltvæg med vægt på 50 kg/m^2</p> <p>Skeletvæg: Stolpetykkelse $\geq 80 \text{ mm}$ Pladebeklædning indvendig: Tykkelse $\geq 10 \text{ mm}$, isoleringsmaterialets art uden betydning for lydisolationen Pladebeklædning udvendig (vindtæt): Tykkelse $\geq 10 \text{ mm}$ lægter + forbeclædning</p>
$35 \text{ dB} \leq I_a < 40 \text{ dB}$	<p>Enkeltvæg med vægt på 100 kg/m^2</p> <p>Skeletvæg: Stolpetykkelse $\geq 100 \text{ mm}$ Pladebeklædning indvendig: To lag plader tykkelse $12 \leq t < 20 \text{ mm}$ 100 mm mineraluld med strømningsmodstand $\geq 5000 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}}$, jvf. DIN 18165 Pladebeklædning udvendig (vindtæt): Tykkelse $\geq 10 \text{ mm}$ lægter + forbeclædning</p>
$40 \text{ dB} \leq I_a < 45 \text{ dB}$	<p>Enkeltvæg med vægt på 150 kg/m^2</p> <p>Skeletvæg: Stolpetykkelse $\geq 140 \text{ mm}$ Pladebeklædning indvendig: To lag plader: Tykkelse $12 \leq t < 20 \text{ mm}$ og pladevægt $\geq 10 \text{ kg/m}^2$, 140 mm mineraluld med strømningsmodstand $\geq 5000 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}}$, jvf. DIN 18165 Pladebeklædning udvendig (vindtæt): Tykkelse $\geq 10 \text{ mm}$, lægter + udvendig forbeclædning vægt $\geq 10 \text{ kg/m}^2$</p>
$45 \text{ dB} \leq I_a < 50$	<p>Enkeltvæg med vægt på 250 kg/m^2</p> <p>Hulmur: Bagmur $\frac{1}{2}$-sten eller letbeton formur $\frac{1}{2}$-sten Beton: Bagstøbning 90 mm, forstøbning 60 mm</p>
$50 \text{ dB} \leq I_a < 55$	<p>Enkeltvæg med vægt på 350 kg/m^2</p> <p>Murstensvægge: Bagmur bredsten formur $\frac{1}{2}$-sten Betonvægge: Bagstøbning 120 mm forstøbning 60 mm</p>
$55 \text{ dB} \leq I_a$	<p>Enkeltvæg med vægt på 480 kg/m^2</p> <p>Murstensvægge: Bagmur 1/1-sten formur $\frac{1}{2}$-sten Betonvægge: Bagstøbning 150 mm forstøbning 60 mm</p>
Væggene skal opfylde diverse krav til isolering mod brand, fugt og varme	

Figur 4. Skønnet luftlydisolation for nogle ydervægge.

nes lydisolation. Flere vægtyper med ekstrem stor varmeisolation har en meget ringe lydisolation, der ofte er mindre end lydisolationen for gode vinduer.

Tage og lofter

Lydteknisk set opfattes tage som de bygningsdele, der udgør adskillelsen mellem rum i bygninger og det fri i vertikal retning. Det vil sige både tag- og loftsklædning samt eventuelle mellemliggende loftsrums. Tagkonstruktioner kan opdeles i to grupper henholdsvis med lofter af tagdæk og med lofter af pladebeklædning på forskalling eller som del af præfab-tagkonstruktion.

Med tagdæk af beton eller letbeton forsynet med built-up eller med overliggende trækonstruktion bestemmes lydisolationen mellem boligen og det fri stort set af dækket. Med tagkonstruktioner med pladebeklædte undersider bestemmes lydisolationen i det væsentlige af pladebeklædningerne. Tagbeklædningen kan forøge lydisolationen, når den er tæt, og når tagrummet er lukket tæt. Ventilationen af tagrum skal i så fald ske gennem lydtdæmpende kanaler. Tætte tage kan være bræddebeklædninger med built-up, men ikke eternittage, skifertage eller teglstenstage, med mindre de lægges på en pladebeklædning. De fleste huse, hvis tage er udført med rejsning, har så regelmæssige ventilationsåbninger, at selv tætte tage ikke forøger lydisolationen væsentligt. Derimod kan flade tage give en lidt større lydisolation, idet hulrummet mellem varmeisoleringen og tagunderside, der virker som ventilationskanaler, samtidig vil virke som lydtdæmpede kanaler. Hulrummet virker herved lydteknisk som et lukket rum i modsætning til det ovenfor omtalte tag med rejsning og ventileret tagrum. Hovedparten af de senere års parcelhusbyggeri og rækkehusbyggeri har tagkonstruktioner, hvis lydisolation hovedsagelig bestemmes af loftsbeklædningerne. Lydisolationen kan blive særlig lav, når der er benyttet lydteknisk set utætte loftsbeklædninger som fliser og lister. For at opnå en rimelig isolation mod det fri, bør der benyttes beklædninger af plader i formater, som giver relativ få samlinger. I figur 5 er angivet skønnede I_a -værdier for nogle

Luftlydisolation I_a	Tage
$25 \text{ dB} \leq I_a < 30 \text{ dB}$	Tagbeklødning på lægter med tynd pladebeklødning på underside af lægter.
$30 \text{ dB} \leq I_a < 35 \text{ dB}$	Tagbeklødning på lægter med pladebeklødning på underside af spærfod, varmeisoleringslag af mineraluld, normaltype. Pladebeklødning af trælist, gipsfliser eller lignende.
$35 \text{ dB} \leq I_a < 40 \text{ dB}$	Tagbeklødning på lægter med pladebeklødning på underside af spærfod, varmeisoleringslag af mineraluld, normaltype. Tæt pladebeklødning 9-16 mm tykkelse.
$40 \text{ dB} \leq I_a < 45 \text{ dB}$	Tagbeklødning på lægter med dobbelt pladebeklødning på underside af spærfod, varmeisoleringslag ca. 200 mm mineraluld Tæt pladebeklødning med tykkelse på 2 x (9-16) mm og med fugemasse-tætning langs tilslutninger til vægge. Tagbjælkelag med built-up. Tæt pladebeklødning på underside, pladetykkelse ≥ 12 mm. Varmeisolering 200 mm mineraluld, normaltype.
$45 \text{ dB} \leq I_a < 50 \text{ dB}$	Tagbjælkelag med built-up. Tæt dobbelt pladebeklødning på underside, pladetykkelse 2 x (≥ 12 mm) og med fugemassetætning langs tilslutninger til vægge. Varmeisolering 200 mm mineraluld med strømningsmodstand $\geq 5000 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^3 \cdot \text{m}}$, jvf. DIN18165. Tagkonstruktion på betondæk
$50 \text{ dB} \leq I_a < 55 \text{ dB}$	Betontagdæk med varmeisoleringslag
$55 \text{ dB} \leq I_a$	Tagkonstruktion på betondæk

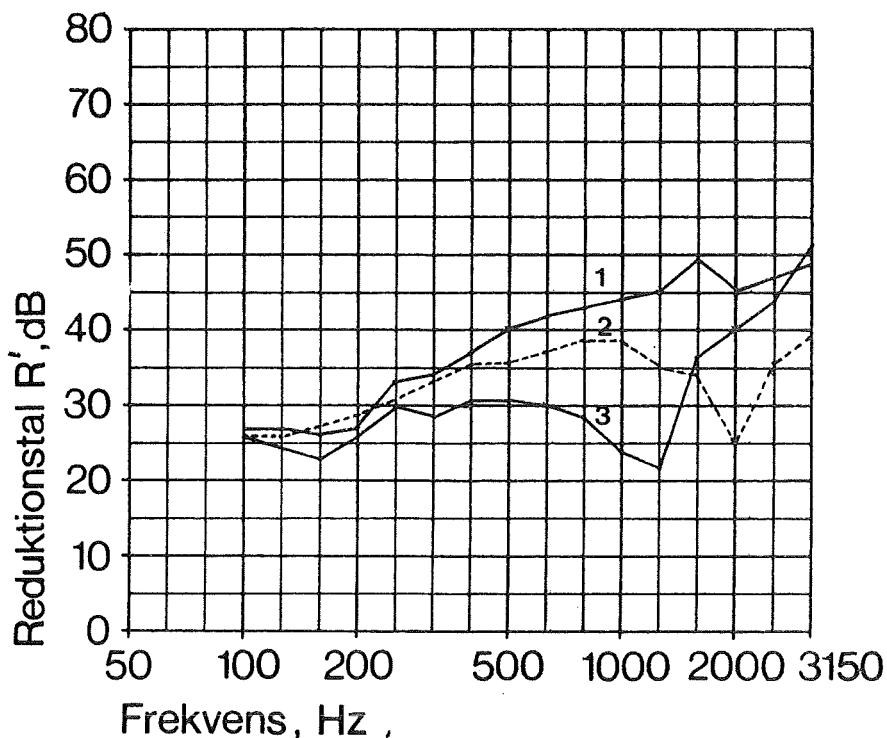
Tagene skal opfylde diverse krav til isolering med hensyn til brand, fugt og varme

Figur 5. Skønnet luftlydisolation for nogle tage.

tage. Hvis varmeisolationslaget skal bidrage til lydisolationen, bør der anvendes mineraluld, som skal udlægges helt tæt ikke blot af hensyn til varmeisolationen, men også af hensyn til lydisolationen. Mineraluld med større tæthed, strømningsmodstand, end der normalt anvendes, kan forøge lydisolationen. Strømningsmodstanden er ikke ens for glasuld og stenuld med samme vægt. For de danske fabrikater svarer glasuld med rumvægt $50-60 \text{ kg/m}^3$ til stenuld med rumvægt $100-120 \text{ kg/m}^3$.

Vinduer

Vinduers lydisolations afhænger i lukket tilstand af lydtransmission gennem glas, glasfals, ramme-fals og karm-fuger, dvs. fuger mellem vægge og karme. For vinduer med et lag glas bestemmes den maksimale lydisolations af glasets vægt og eventuel koïncidens, se figur 2. I praksis



Figur 6. Reduktionstallet R' som funktion af frekvensen for et 12 mm vinduesglas under tre forskellige indfaldsvinkler. 1: Vinkelret lydindfald 0° , $I_a = 42 \text{ dB}$. 2: Skrå lydindfald 45° , $I_a = 35 \text{ dB}$. 3: Strejfende indfald 75° , $I_a = 31^a \text{ dB}$. (Efter A. Eisenberg).

har den optimale glastykkelse på 4-6 mm grænsefrekvenser mellem 2000 og 3000 Hz. For større glastykkelser aftager grænsefrekvensen for koincidens, og for fx 12 mm glas er den ca. 1000 Hz. Det medfører, at der er en stor risiko for, at et 12 mm glas giver en lav lydisolations i et meget kritisk frekvensområde. Lydisolationen afhænger på grund af koincidensfænomenet også af indfaldsvinklen, se figur 6. Det kan få betydning, når trafikstøj i overvejende grad falder ind under en vinkel på omkring 75° . Med to lag glas kan lydisolationsen forøges, se figur 7, men

a	Glasafstand mm					
	Glaskombination mm	12	50	100	100 + absorberent	200 + absorberent
	3/3	28	33	38	43	-
	4/4	31	33	39	44	40
	6/6	28	-	40	44	-
	10/6	34	39	42	-	47 50

b	Glastykkelse mm	Flerlagsglas antal x mm			
		Enkeltglas	2 x 6	4 x 3	2 x 10
	3	31			
	6	31			
	12	30	33	35	
	20	30			34

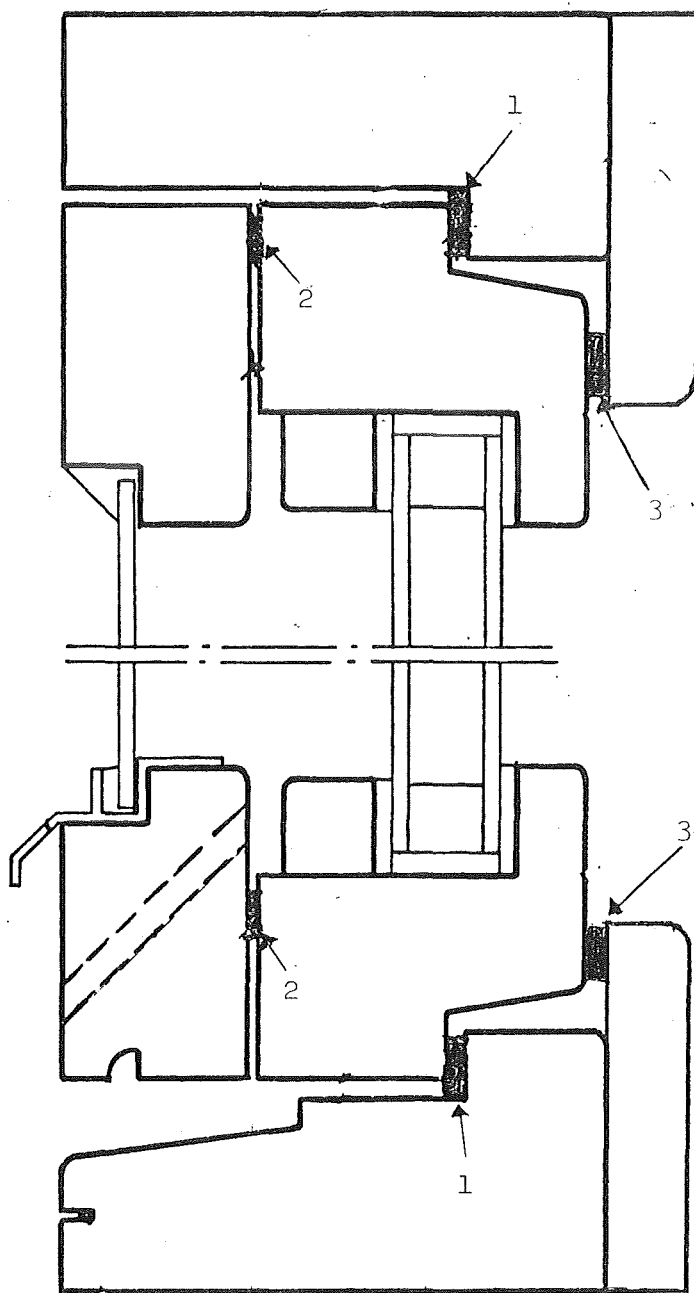
c	Glasafstand mm	
	Glaskombination mm	
	0,9	80
	10/10	36
	6/6	36
	3/3	39
	2x3/2x3	45

Figur 7. Skema a viser indeks for luftlydisolationen I_a for to lag glas som funktion af glastykkelser og glasafstand. Skema b viser bøjningsstivhedens betydning for luftlydisolation af massive glas. Skema c viser bøjningsstivhedens betydning for luftlydisolation af dobbelt glas.

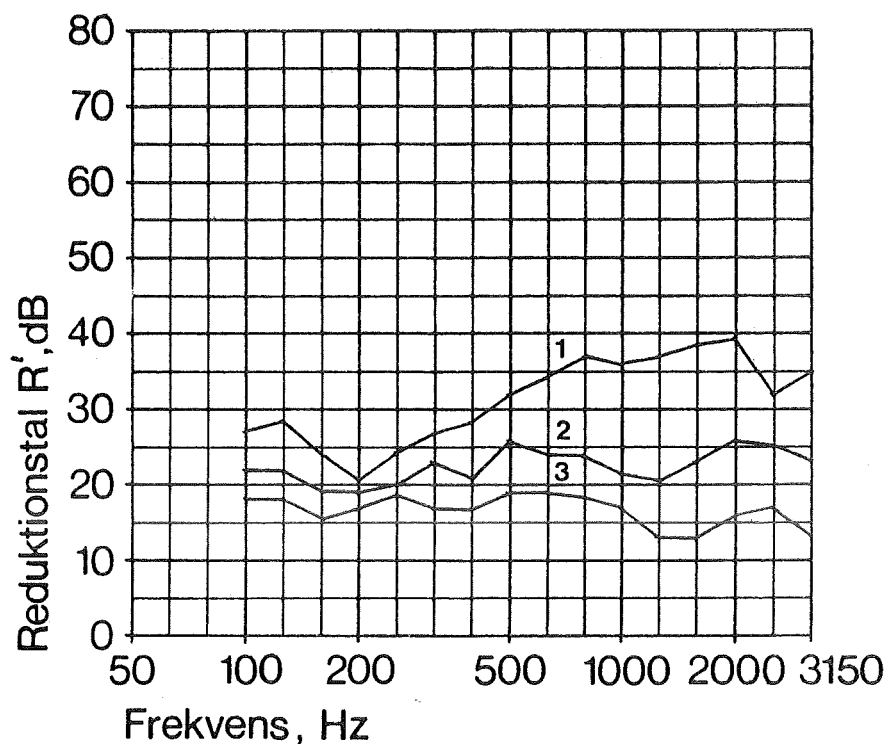
foruden koincidenseffekten kan i dette tilfælde også resonans nedsætte lydisoleringen. Principielt bør grænsefrekvensen f_g ikke være ens for de to glas, og resonansfrekvensen f_r for dobbeltglas bør være mindre end 90 Hz, se figur 3. Termoruder opfylder ikke denne betingelse. Med specielle "lydruder" kan der opnås større lydisolering end med normale termoruder. Det sker ved, at termorudens ene glas erstattes af to glas med den halve tykkelse og med indbyrdes afstand på ca. 0,1 mm. Herved reduceres stivheden for rudens ene glas, mens vægten pr. arealenhed ikke ændres, se figur 7. Udfyldning af termorudens hulrum med en egnet luftart kan yderligere forøge deres luftlydisolering. Normalt giver vinduer med tre lag glas ingen lydteknisk fordel fremfor vinduer med to lag glas, når vinduerne, glassene, har samme totale vægt pr. arealenhed og samme afstand mellem de to yderste glas. Derimod kan tre lag glas give mulighed for bedre fugetætning. Forudsætningen for, at vinduer kan give maksimal lydisolering, er, at lydtransmissionen gennem fuge for glas og rammer og gennem fuger mellem karm og ydervæg er forsvindende i forhold til transmissionen gennem glasset. Glas, enkeltglas eller termoruder, skal derfor indsættes i karme eller rammer således, at der opnås en tilfredsstillende og varig tæthed, og der bør anvendes elastisk materiale mellem glas og rammerne eller karm. Forskellen i luftlydisolering mellem et glas isat med og uden elastisk materiale kan andrage 2-4 dB. For at undgå fugtskader ved karm- eller rammeundersider og på isoleringsruder findes det ofte nødvendigt med udluftning af hulrum under isoleringsruder. Der anvendes i denne forbindelse tit så store hularealer til udluftning, at lydisoleringen næppe kan opnå den maksimale værdi. Dette vil især gøre sig gældende, når der anvendes specielle isoleringsglas med stor lydisolering. For disse glas kommer hertil, at punktering af termoruder ifølge Teknologisk Institut viser sig at være et udbredt problem. Det er muligt at gennemskylle og rense mellem termoruders glas, således at den synsmæssigt retableres og dens varmeisolering ikke forringes. Derimod er det ikke altid muligt at bevare rudernes lydisolering, som i

hvert fald aftager, når den er baseret på tilstedeværelsen af en speciel gasart i glasmellemrummene. Det vil lydteknisk være mere hensigtsmæssigt med en normal termorude indvendig og et enkeltglas i en udvendig forsatsramme, som skal slutte tæt til karmen. Udluftning af hulrummet mellem udvendig glas og indvendig termorude bør ske gennem cirkulære huller ca. 5 mm pr. 0,2 m i underrammestykke, se figur 8.

Mellem oplukkelige rammer og karm er det nødvendigt at anvende tætningslister, som kan sikre et tæt lukke ikke blot i garantiperioden, men i hele vinduets anvendelsesperiode. Det er i praksis nødvendigt, at tætningslister anbringes i samme plan for at opnå fuld tætning. For vinduer med stor lydisolering er en tætning, som ligger i samme plan, i reglen utilstrækkelig. Der bør anvendes to tætninger, som skal ligge i to planer med en passende indbyrdes afstand, se figur 8, tætningerne 1 og 3. Der skal anvendes lukkebeslag, som sikrer en tilfredsstillende tæthed mellem rammer og tætningslister, det gælder også ved rammernes hængselside. Resultatet af en undersøgelse, der viser isoleringstab på grund af lydtransmission gennem fuger mellem rammerne og karm i et vindue, er vist i figur 9. Isoleringstab for et vindue på grund af lydtransmission gennem fals og falstætning kan også udtrykkes som en funktion af vinduets vindtæthed, se figur 10. Det fremgår af figuren, at der selv for vinduer, hvis vindtæthed karakteriseres som værende udmærket, kan være et betydeligt tab i lydisolering på grund af lydtransmission via vinduesfals. For døre, hvis tæthed i reglen er mindre end vinduers, kan nedsættelsen af lydisoleringen på grund af lydtransmission via dørfals således blive for stor. Lydtransmissionen via fals får større betydning jo større lydisolering komponenten har, når falsene er helt tætte. Hvis den tætte komponent har en lydisolering på fx 45 dB, og den i praksis afprøvede komponent har en lufttæthed svarende til en transmitteret luftmængde på ca. $10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, se figur 10, vil lydisoleringen være ca. 30 dB, og den transmitterede luftmængde skal formindskes til ca. en tredjedel for at forøge lydisoleringen 5 dB. For komponenter med maksimal lydisolering på 40 dB må fugetabet ikke



Figur 8. Lodret snit i et vindue med 3 lag glas og koblede rammer. Tætningsliste 1 er normalt for det viste vindue. Tætningslisterne 2 og 3 er nødvendige for at opnå en lydisolation på $I = 35$ dB. Tætningsliste 2 forudsætter en udluftning^a af hulrummet mellem rammerne. Det kan ske ved hjælp af ca. 5 mm cirkulære huller pr. 0,2 m i underrammestykket.



Figur 9. Reduktionstallet som funktion af frekvensen for et 1,52 m x 1,83 m vindue.

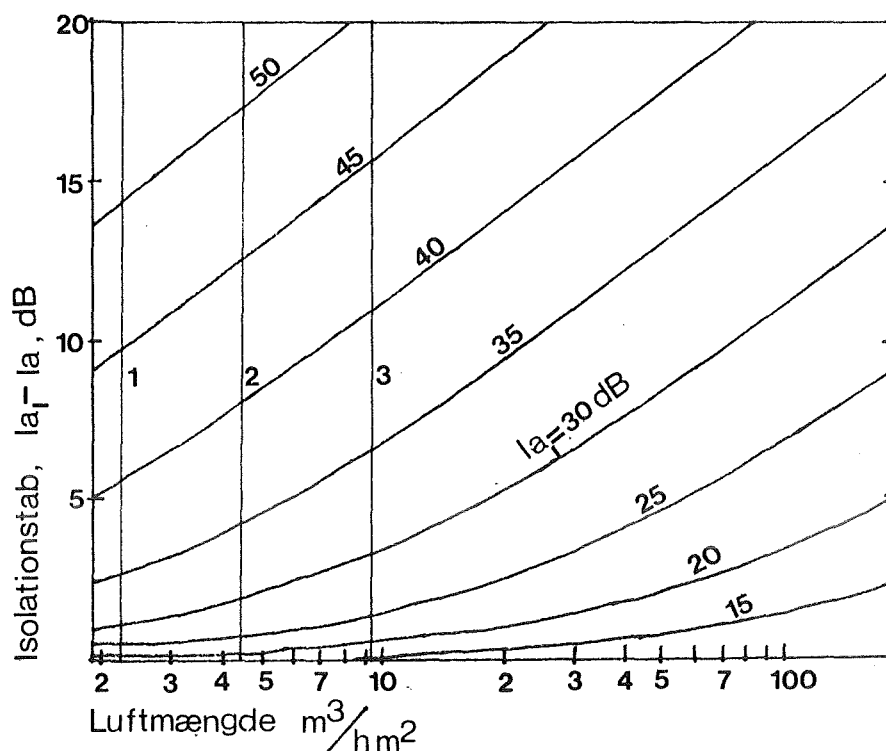
- 1: Fuge mellem ramme og karm forseglet
- 2: Fuge på 1,6 mm mellem ramme og karm
- 3: Fuge på 6,4 mm mellem ramme og karm

Kurve	Fugetykkelse	Fugelængde	Lydisolation
1	0	0	$I = 34$ dB
	0,8 mm	3,35 m	$I^a = 29$ dB
	0,8 mm	6,70 m	$I^a = 26$ dB
2	1,6 mm	6,70 m	$I^a = 23$ dB
	3,2 mm	6,70 m	$I^a = 19$ dB
3	6,4 mm	6,70 m	$I^a = 15$ dB

(Efter H. J. Sabine m.fl.)

overstige $0,2 \text{ m}^3/\text{hm}$, hvis fugens indvirkning på lydisolationen skal være højst 1 dB.

Når der ønskes særlig stor lydisolation, dvs. over 45 til 50 dB, vil det tit være nødvendigt med to selvstændige karme. Der kan yderligere opnås en forbedring af lydisolationen på 3-5 dB ved at indsætte lydabsorberende materiale, fx



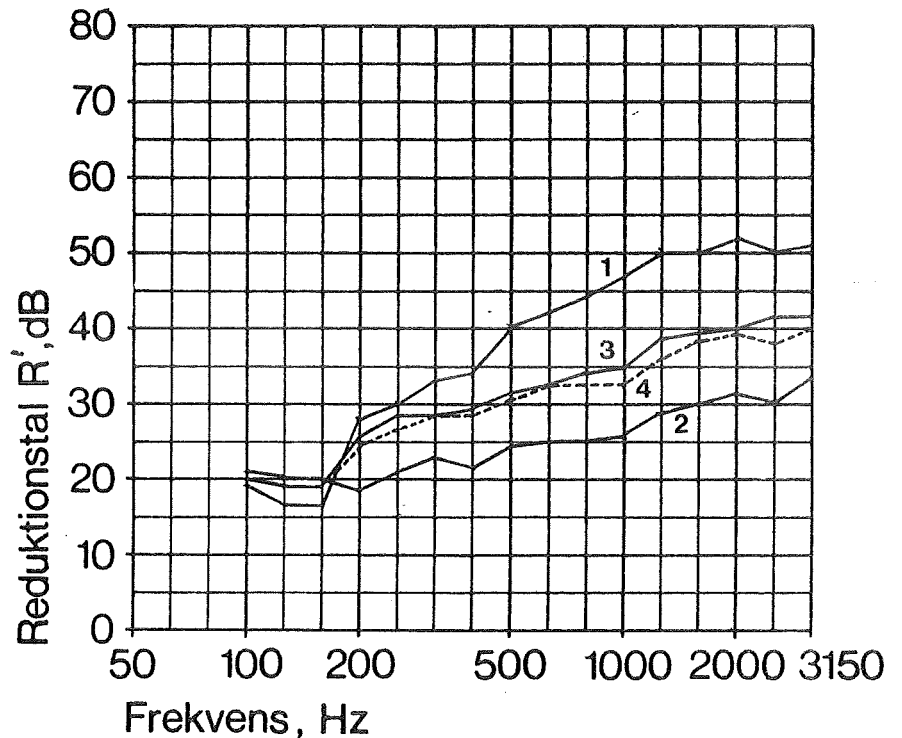
Figur 10. Skønnet tab i lydisolations, $I_{a1} - I_{a2}$, som funktion af lufttransmission ved en trykdifferens på 75 Pa. I_{a1} er isolationsindeks for dør eller vindue, når lydtransmission via vinduesfals henholdsvis dørfals er forhindret, fx ved tætning med fugemasse. På figuren er indtegnet linierne 1, 2 og 3, der angiver tæthedsgraden, som er karakteriseret ved grænserne mellem henholdsvis udmærket/god, god/brugbar og brugbar/dårlig ved et overtryk på 75 Pa, jævnfør figur 2 i SBI-notat 26. (Efter H. J. Sabine m.fl.).

mineraluld, mellem karmene langs sidekarm-, overkarm- og underkarmstykker, se figur 7. Mellem karm og ydervægge bør fugetykkelser ikke overstige 15 mm, og fuger skal stoppes jævnt og tæt med mineraluld, der indvendig skal forsegles med fugemasse og udvendig tildækkes med en vind- og regnskærm.

Måling og vurdering af komponenters luftlydisolation

I nogle tilfælde kan facaders lydisolations måles direkte, i andre tilfælde må deres lydisolations bestemmes ved, at ydervægge måles for sig og vinduer for sig, hvorefter den resulterende lydisolations beregnes af udtrykket (3). En

sammenligning mellem et måleresultat og et beregnet resultat for en sammensat konstruktion, vindue og væg, er vist i figur 11.



Figur 11. Reduktionstallet som reduktion af frekvensen for en væg, et vindue og en sammensat konstruktion bestående af væg og vindue.

1: Væg	målt	$I = 39$ dB
2: Vindue	målt	$I^a = 28$ dB
3: Væg og vindue	målt	$I^a = 35$ dB
4: Væg og vindue	beregnet	$I_a^a = 34$ dB

(Efter H. J. Sabine m.fl.).

Lydisolationen kan måles, når ydervægskomponenter er indsat i bygninger, eller når komponenter er monteret i et laboratorium.

Måling i laboratorium

Ved måling i laboratorium monteres hele facadekomponenten i en prøveåbning i en fælles væg mellem to rum. I det ene rum, senderummet, frembringes ved hjælp af en lydgenerator og en højttaler et støjsignal, hvis niveau måles dels i senderummet, delt i det andet rum, modtagerummet. Differen-

sen mellem niveauet i senderummet og modtagerummet udtrykker luftlydisolationen under de specielle betingelser, som findes i laboratoriet. For at kunne sammenligne resultater fra andre laboratorier må der foretages korrektioner for modtagerummenes efterklangstid, volumen mv. Udførelse af målinger såvel som beregning og præsentation af måleresultater er fastlagt i en international standard, som også er dansk standard, DS/ISO/R140. Reduktionstallet bestemmes pr. 1/3 oktav ved seksten standardiserede frekvenser inden for frekvensområdet 100-3150 Hz af følgende udtryk:

$$R = L_S - L_M + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \text{ dB} \quad (4)$$

hvor L er lydtrykniveauet i henholdsvis sende- og modtagerum, S det fælles skillefladeareal og A antallet af absorptionsenheder i modtagerummet.

Ønskes lydisolationen ikke bestemt for hele facadekomponenter, men kun for et vindue, monteres dette i en væg med reduktionstal, som er kendt, og som er mindst 5 dB større end vinduets forventede reduktionstal. De målte reduktionstal er ikke reduktionstallene for vinduet, men for den sammensatte konstruktion væg og vindue. Vinduets reduktionstal findes ved beregning af følgende udtryk:

$$R_{\text{vindue}} = 10 \log \frac{S_{\text{vindue}}}{(S_{\text{vindue}} + S_{\text{væg}}) 10^{\frac{(-R_s)}{10}} - S_{\text{væg}} 10^{\frac{(-R_{\text{væg}})}{10}}} \text{ dB} \quad (5)$$

hvor S_{vindue} og $S_{\text{væg}}$ er arealet af henholdsvis vindue og væg, og hvor R_s , R_{vindue} og $R_{\text{væg}}$ er reduktionstal for henholdsvis den sammensatte konstruktion, vinduet og væggen. Efter måling af R_s er den eneste ubekendte R_{vindue} , som derefter kan beregnes af (5). Til beregning af reduktionstal for facader, når vinduers og ydervægges reduktionstal og deres arealer er kendte, anvendes udtrykket (3). Ved måling i laboratorier sker lydindfaldet mod komponenter, som er under afprøvning fra alle indfaldsvinkler mellem 0° og 90° . I praksis sker lydindfald ofte overvejende fra et begrænset vinkelområde.

Måling i bygninger

Der findes i øjeblikket ingen standard for, hvorledes facaders lydisolations skal måles i bygninger. Men der foreligger et forslag, ISO/DIS140/V, der med få ændringer forventes vedtaget som standard og udgivet i løbet af 1978. Heri angives to metoder til måling af facaders lydisolations. Forskellen på de to består i, at der i det ene tilfælde benyttes højttalere som lydkilde, og i det andet tilfælde benyttes støj fra trafik som lydkilde. Det tilrådes at studere indholdet i standarden grundigt, før man prøver at anvende metoderne. Det må forventes, at de to metoder ikke giver helt ens resultater. Heldigvis viser det sig, at reduktionstal for en række vinduer, der er målt korrekt ved hjælp af trafik som lydkilde, stemmer godt overens med resultater fra laboratorier.

Måling med højttaler som lydkilde

En højttaler placeres uden for bygningen i en passende afstand fra facaden, det vil sige i en afstand, hvor højttaleren kan frembringe et ensartet lydtrykniveau foran den del af facaden, som skal afprøves. Reduktionstallet bestemmes af følgende udtryk:

$$R_v = L''_u - L_i + 10 \log \frac{4S \cos v}{A} \text{ dB} \quad (6)$$

hvor L''_u er lydtrykniveauet uden for bygningen. Lydtrykniveauet måles i princippet som middelværdien af de forekommende lydtrykniveauer på en fiktiv flade, som er beliggende midt mellem højttaler og facade. Fladens størrelse bestemmes ved en centralprojicering mod højttaleren af den del af facaden, der skal afprøves. I praksis måles lydtrykniveauet i 6 til 10 punkter på den beskrevne flade, og L''_u er middelværdien af de målte lydtrykniveauer. L_i er middelværdien af lydtrykniveauet i modtagerummet. S er prøvearealet og A antallet af absorptionsenheder i modtagerummet. v er vinklen mellem en linie fra højttaler til centrum for prøvearealet og normalen til facaden. Der skal måles under en vinkel på 45° . Det rekommanderes også at udføre målinger ved 0° , 15° , 30° , 60° og 75° . Ved hver vinkel skal R_v bestemmes ved seks-ten standardfrekvenser. Metoden forekommer umiddelbart be-

svær lig at anvende, og det må formodes, at den kun sjældent vil blive anvendt.

Måling med trafikstøj som lydkilde

Trafikintensiteten bør være så stor, at der opnås samtidig lydindfald over et bredt vinkelområde, målt i forhold til de mulige indfaldsvinkler. Reduktionstallet bestemmes pr. 1/3 oktav af følgende udtryk:

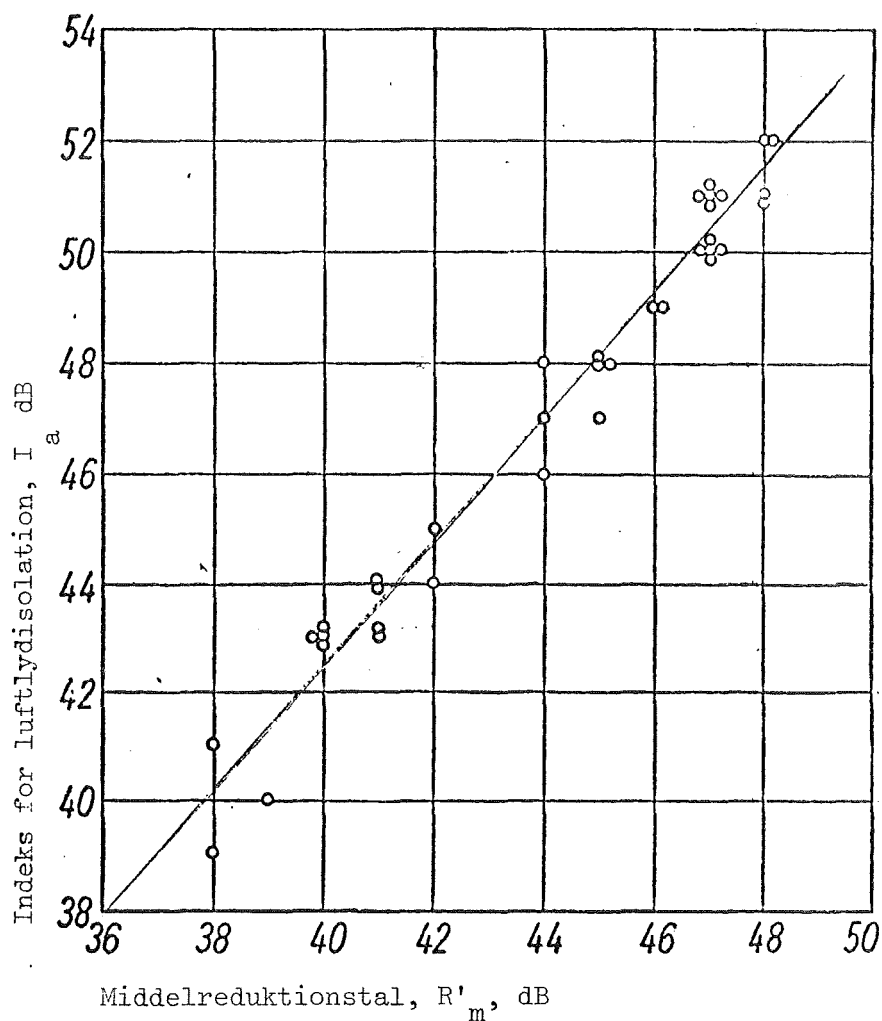
$$R_{tr} = L_{eq,u} - L_{eq,i} + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB} \quad (7)$$

hvor R_{tr} står for trafik, $L_{eq,u}$ og $L_{eq,i}$ er det konstante, energiækvivalente lydtrykniveau henholdsvis ude og inde, definition se (9). Lydtrykniveauet måles inde som middel af niveauet i rummet og ude i et punkt 2 m foran facaden, der afprøves. S er prøvearealet og A antallet af absorptionsenheder i modtagerummet. Der er nogle forudsætninger for anvendelse af (7), nemlig at indfaldsvinklen målt i vertikal retning bør være større end 20° , men mindre end 50° . Metoden er bekvem at arbejde med, men forudsætter under alle forhold samtidige optagelser af støjsignal ude og inde, og at forskellen mellem lydtrykniveauet ude og inde i hele frekvensområdet er større end facadens lydisolations. Det vil ikke altid være tilfældet, når facaderne har stor lydisolations. Hvis facader består af ydervægge med vinduer, og ydervæggens lydisolations er meget mere end 10 dB større, end vinduernes lydisolations, vil den fundne lydisolations kunne betragtes som vinduernes lydisolations. Ved målinger i praksis viser det sig ofte vanskeligt at opnå et tilstrækkeligt højt lydtrykniveau uden for bygninger og et tilstrækkelig lavt lydtrykniveau i bygninger. Hvis målingerne ikke udføres med stor omhu, og den der udfører målingerne ikke har betydelig erfaring, vil det målte reduktionstal R_{tr} ofte være mindre end ved måling i laboratorium.

Vurdering af måleresultater

Måleresultater kan vurderes på flere måder, som når alt kommer til alt ikke er så forskellige. Den mest simple vurdering består i at udregne middelreduktionstallet. En anden metode er at vurdere reduktionstallene i forhold til et

standardiseret frekvensforløb og med et standardiseret afvigelseskræterium, hvorved isolationen kan udtrykkes ved et tal, betegnet I_a dB. Den sidste vurderingsmetode anvendes i BR-77 og findes beskrevet i ISO/R717. Metoden er i princippet en anvendelse af et vægtet middelreduktionstal, og der består en afhængighed mellem R'_m og I_a , som fremgår af figur 12.



Figur 12. Indeks for luftlydisolation I_a som funktion af middelreduktionstallet R'_m . (Efter H. Gummlich m.fl.).

En tredje metode er at vurdere bygningsdeles lydisolation ved deres reduktion af støjniveauet i dB(A). Der er imidlertid en ulempe ved denne metode, idet isolationen afhænger af støjniveauets frekvenssammensætning. For at anvende metoden, er det derfor tillige nødvendigt at standardisere et støjspektrum for vejtrafik. Det må imidlertid forventes,

at der vil være nogen variation i de frekvensspektre, der i givet fald ville blive foretrukket i de enkelte lande.

Støjniveauet uden og inden for klimaskærmen

Både støjniveauet uden for klimaskærmen og niveauet inde i modtagerummet har væsentlig betydning for brugerens vurdering af den akustiske komfort.

Måling af støjniveau

Måling af støjniveau, som fluktuerer i tid kan ikke umiddelbart angives ved et enkelt tal. I tidens løb er støjniveauet defineret forskelligt. I øjeblikket synes det konstante, energiækvivalente lydtrykniveau $L(A)_{eq}$ i dB(A) at blive den foretrukne definition. $L(A)_{eq}$ defineres ved:

$$L(A)_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 L_i} \text{ dB(A)} \quad (8)$$

hvor L_i er lydtrykniveauet i dB(A) i tidsintervallet T_i , n er antallet af intervaller og T det samlede tidsinterval. Ved måling af $L(A)_{eq}$ anvendes almindeligvis et døgnns måleperioder. Resultatet betegnes ved:

$$L(A)_{eq(24)} \text{ dB(A)} \quad (9)$$

Også andre tidsintervaller anvendes, 30 min., 1 time, 2 timer, 8 timer eller mere fastlagte tidsintervaller, fx (22-6), som angiver 8 timer fra kl. 22⁰⁰ til 6⁰⁰. Bestemmelse med hensyn til angivelse af intervaller for støjniveau er ikke standardiseret, og angivelsen er i vid udstrækning en følge af forskellige landes lovbestemmelser.

Generelt vil dagniveauet ligge lidt højere end $L(A)_{eq(24)}$ ofte 1 til 2 dB og natniveauet noget lavere, hyppigt omkring 5 dB. Foruden støjniveauet angivet ved $L(A)_{eq}$, anvendes der også andre mål for støjniveauet baseret på statistisk behandling af den kontinuerte støj. Hyppigt anvendes støjniveauet, som overstiges i 95 %, 90 %, 70 %, 50 %, 30 %, 10 % og 1 % af tiden i en måleperiode på 1, 2, 8 eller 24 timer. $L(A)_{10}$ anvendes i vid udstrækning i England og USA.

Beregning af støjniveau

I mange tilfælde vil en beregning af støjniveauet være nødvendig, idet forventede trafikforøgelse må indgå i en planlægning. Der er i flere lande udarbejdet vejledninger for sådanne beregninger, men de er ikke ens, og de vil derfor næppe føre til ens resultater. I øjeblikket benyttes NKB-skrift nr. 17: Støj og byplan, Statens Planverk, rapport 22: Samhøllsplanering og vägtrafikbuller og Miljøstyrelsens vejledning nr. 2: Miljøhensyn ved planlægning. I løbet af 1978 må det forventes, at resultaterne af et arbejde under Det Nordiske Ministerråd fremkommer som rapport med en beregningsmodel for trafikstøj. Det er meningen, at denne model skal være fælles for beregning af trafikstøj i Skandinavien.

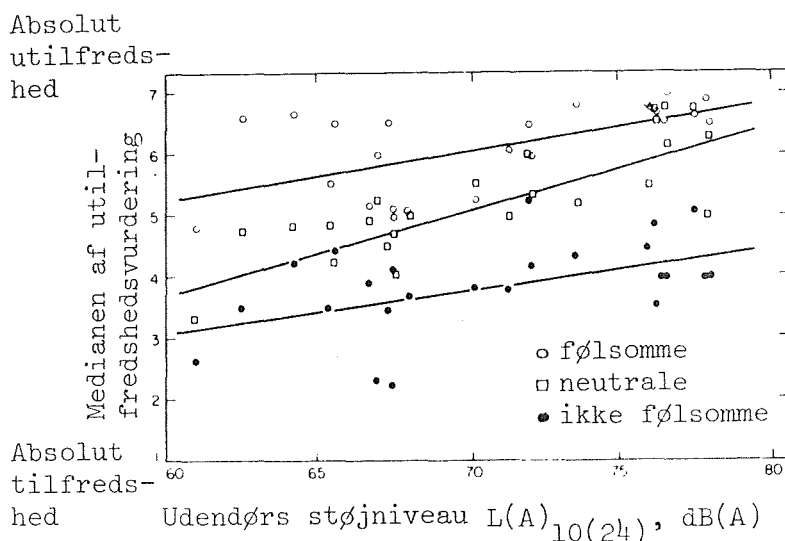
Støjniveau uden for bygninger

Det er inden for vide grænser muligt at skabe støjmæssigt tilfredsstillende forhold indendørs under utilfredsstillende støjmæssige udendørsbetingelser. Denne situation er imidlertid ikke tilstræbelsesværdig, idet de fleste ønsker at kunne åbne vinduer og at kunne benytte eventuelle udendørs rekreative arealer, altaner og terrasser, uden at blive generet af støj. Der gives i nogle anvisninger og vejledninger øvre grænser for tilfredsstillende udendørsniveauer. I figur 13 ses en vejledning fra Miljøstyrelsen angående støj fra vejtrafik, men der findes også vejledninger for støj fra erhvervsvirksomheder og fra fly. En øvre grænse på ca. 55 dB(A) i områder med boliger accepteres i de fleste vejledninger. Resultatet af undersøgelser vedrørende trafikstøj i London viser, at hvis støjniveauet vokser fra 55 dB(A) til omkring 62-65 dB(A), tiltager reaktionen mod støjen fra beboerne meget kraftigt. I senere engelske undersøgelser er befolkningens holdning til trafikstøj mere uddybet, og det viser sig, at reaktionen mod støj ikke er entydig. Ved en sociologisk undersøgelse kunne de adspurgte vurdere støjen i 7 trin, og samtidig blev de spurgt, om de vurderede sig selv som værende støjfølsomme, neutrale eller ikke støjfølsomme. Svarene viste, at 29 % anså sig som følsomme over for støj, 31 % som neutrale og 40 % som ikke følsomme over for

Områdetype/byfunktion/bebyggelse	Tilfredsstillende miljø ved ækvivalente, konstante lydniveauer på eller lavere end de neden for anførte	Utilfredsstillende miljø ved ækvivalente, konstante lydniveauer højere end de neden for anførte
Sommerhusområder		
Rekreative områder uden for byområder	40 dB(A)	50 dB(A)
Holigområder, hospitaller, rekreative områder i byområder	45 dB(A)	55 dB(A)
Hoteller, kirker, teatre, kontorer	50 dB(A)	60 dB(A)
Virksomheder med lavt internt støjniveau.		
Mindre forretninger	55 dB(A)	65 dB(A)
Stormagasiner, supermarkeder	65 dB(A)	75 dB(A)
Virksomheder med højt internt støjniveau	70 dB(A)	80 dB(A)

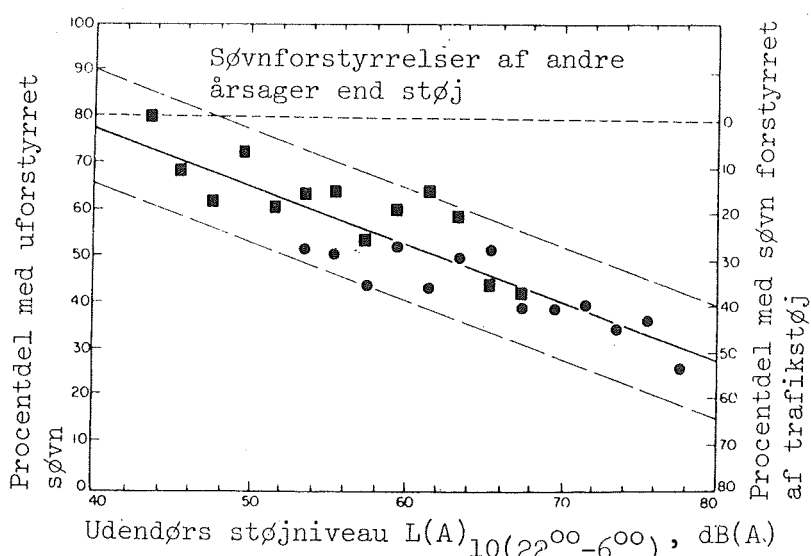
Figur 13. Miljøstyrelsens vejledning vedrørende støj fra vejtrafik. (Miljøstyrelsens vejledning nr. 2/74).

støj. I figur 14 ses de tre gruppers vurdering af støjgener som funktion af støjniveauet. Også de udendørs støjniveauerens virkning som søvnforstyrrende faktor er undersøgt.



Figur 14. Utilfredshed i relation til støjniveau for tre undergrupper, som er karakteriseret ved, at personerne anser sig selv som følsomme, neutrale og ikke følsomme over for støj. Ordinaten er en subjektiv vurdering af støjgenen. Støjniveauet er angivet ved det niveau, som overstiges i 10 % af måleperiodens 24 timer.

I figur 15 vises søvnforstyrrelser som funktion af støjniveauet, der er angivet ved $L(A)_{10(24)}$, som er et lidt højere niveau end $L(A)_{eq(24)}$ dB(A). Det væsentlige ved resultatet er, at et stigende antal mennesker forstyrres i deres nattesøvn med et voksende støjniveau, og at allerede ved 55 dB(A) forekommer søvnforstyrrelser på grund af trafikstøj hos 10-15 % af de adspurgte, som har soverum mod vejsiden. Andre undersøgelser peger i retning af psykiske belastninger med stigende støjniveauer. Der synes således at



Figur 15. Regressionslinje med 95 % konfidensgrænser, som angiver et estimat for trafikstøjens virkning på søvnen hos personer, som sover i rum ud mod veje med trafikstøj. Resultatet er baseret på svar fra 1558 personer, hvoraf nogle sov uforstyrret med åbne vinduer, cirkelmarkeringer, og andre sov uforstyrret med lukkede vinduer, kvadratmarkeringer. Der er ved beregningerne forudsat, at virkningen af lukkede vinduer reducerer støjniveauet inde i rummet med ca. 10 dB(A), hvorfor det udendørs støjniveau for denne gruppe er reduceret med 10 dB(A). (Efter F. J. Langdon og I. B. Buller).

være al rimelig grund til at betragte et udendørs støjniveau på 55 dB(A) som en passende nedre grænse for, hvor isoleringsforanstaltninger er nødvendige.

Støjniveauet inde i bygninger

Størrelsen af det tilladelige støjniveau inde i bygninger

afhænger af rummenes funktion. Undersøgelser af menneskers søvnforløb tyder på, at støjniveauer ikke bør overstige ca. 35 dB(A), og at støjens dynamikområde, dvs. det variationsområde, som begrænser støjniveauets øjebliksværdier, højst må overstige de 35 dB(A) med 15 dB.

Det angives hyppigt, at niveauet af almindelig samtale ligger på ca. 50 dB(A), og at signalets niveau, talestyrken, bør ligge 10 til 20 dB højere end baggrundsstøjniveauet, som i denne forbindelse kan være trafikstøjniveauet. Dette er en meget forenklet vurdering af særdeles komplicerede problemer. Formålet er at give et skøn over hvilke niveauer, der må anses for rimelige i boliger. Det synes med de nævnte talstørrelser rimeligt, at støjniveauer ikke bør overstige 30-35 dB(A) i boliger.

Krav til klimaskærmen eller til støjniveauet

Når der skal opstilles krav til facaders lydisolation, vil det være nødvendigt at tage stilling til, om krav skal baseres på støjniveauet ude, inde eller på lydisolationen.

Støjniveau

Vælges det indendørs støjniveau som den størrelse, hvortil der stilles krav, må de projekterende måle eller beregne det udendørs støjniveau og på basis heraf udregne den nødvendige facadeisolation. Kontrollen består i at måle det indendørs støjniveau, hvilket umiddelbart kan synes en simpel sag. Det vil det dog kun være, såfremt støjniveauet kun skal måles over en kortere tidsperiode, fx 15 minutter inden for et givet tidsrum. For myndighederne vil dette være en simpel løsning, men for projekterende og udførende vil det sikkert være en højst uvelkommen løsning. De projekterende ville herved være tvunget til at måle udendørsstøjniveauet og på basis af dette samt det tilstræbte indendørsniveau, beregne, hvorledes facadens reduktionstal skulle være for at give den ønskede differens i dB(A). Hvis det udendørs støjniveau beregnes på grundlag af en senere forventet trafikintensitet, vil kontrol af indendørsniveauet ikke kunne ske umiddelbart, idet kontrollen enten måtte baseres på en beregning eller afvente, at den fulde trafikintensitet var nået.

Det udendørs støjniveau kan ikke umiddelbart anvendes som den størrelse, hvortil der stilles krav, idet det udendørs støjniveau må kombineres med både det indendørs niveau og lydisolationen for at kunne anvendes.

Lydisolation

Vælges lydisoleringen som den størrelse, hvortil der stilles krav, kan den forbindes med indendørs- og udendørsstøjniveauet, eller den kan fastlægges ud fra områdets karakteristisk, fx lavt tæt boligområde mv. Kontrollen består i at måle facadens lydisolering i overensstemmelse med den metode, som fastlægges i de eventuelle bestemmelser. Fastsættelse af lydisolering efter områdets art vil være meget let for projekterende, men det kan ikke umiddelbart forventes, at beboerne sikres tilfredsstillende indendørs støjniveau, idet der ikke er nogen relation mellem trafikstøjniveauet og områdets betegnelse, fx boligområde.

Model for krav til klimaskærmens lydisolering og følgerne af eventuelle krav

Af det foregående afsnit fremgår, at krav til indendørsstøj kan stå alene, men at det er projekteringsuvenligt. Krav baseret på det udendørs støjniveau kan ikke umiddelbart anvendes.

Lydisolationen for nogle ydervægge, tage og vinduer

For at finde en eventuel sammenhæng mellem luftlydisolationen I_a for en konstruktion og dennes lydisolering målt i dB(A) er disse størrelser blevet beregnet for i alt 69 komponenter.

Bygningsdelenes luftlydisolation, reduktionstal, som funktion af frekvensen er vurderet i overensstemmelse med ISO/R717 og angivet ved I_a . Ved vurderingen er reglen om en maksimal afvigelse på 8 dB fra vurderingskurven ikke benyttet. Ved beregningen af bygningsdelenes isolering i dB(A), $\Delta L(A)_{eq}$, er benyttet udtrykket (jævnfør side 25):

$$R_{tr} = L_{eq,u} - L_{eq,i} - 10 \log \frac{A}{S} \quad \text{dB} \quad (7)$$

Ved beregningerne er det forudsat:

at $R_{tr} = R$ for vinduer, lette vægge og lette tage

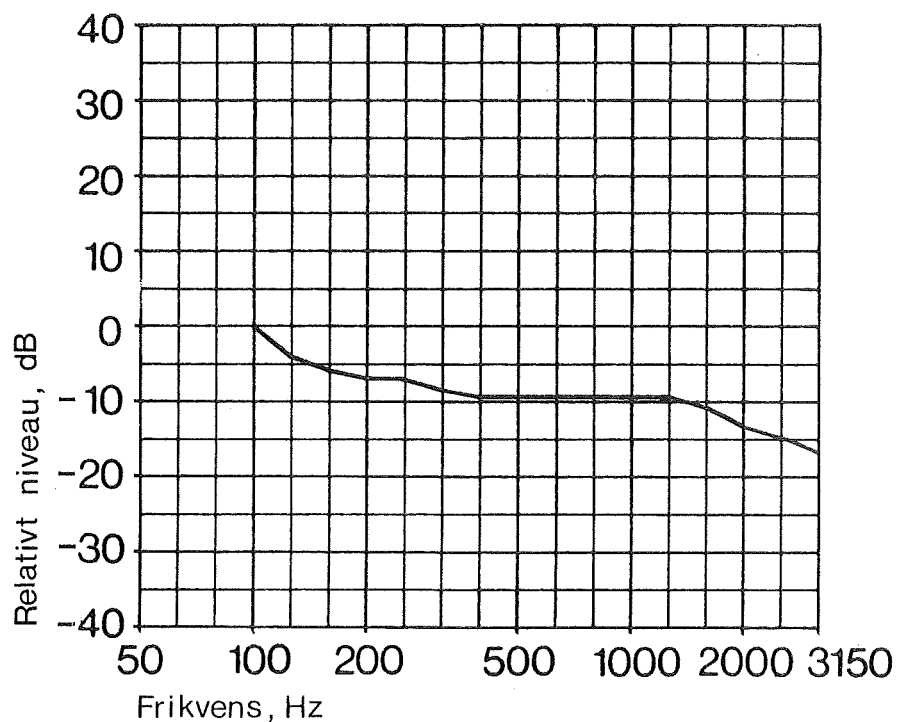
at $I_a = I_{a,lab}$, samt

at $S = A$

Med disse forudsætninger fås af (7):

$$L_{eq,i} = L_{eq,u} - R \text{ dB} \quad (10)$$

Ud fra (10) er lydtrykniveauet $L_{eq,i}$ pr. 1/3 oktav beregnet med 5 forskellige generaliserede udendørs støjspektre, se figur 16. Ved generaliserede støjspektre for trafikstøj for-



Figur 16. Relativt støjniveau som funktion af frekvensen angivet ved middelværdien af 4 generaliserede spektre: Udæmpet spektrum ved vejkant, hastighed 50-110 km/h. Udæmpet spektrum i tætbebyggelse, hastighed 50-70 km/h. Spektrum med overfladedæmpning, hastighed 70-110 km/h. Skærmet spektrum, hastighed 70-110 km/h. (Efter G. Kårfalk).

stås frekvensforløb baseret på et stort antal målinger af trafikstøj. Det totale udendørs støjniveau $L(A)_{eq,u}$ er sat til 0 dB(A) således, at lydisolationen $\Delta L(A)_{eq}$ i dB(A) fås ved A-vejning af $L_{eq,i}$.

De fire spektre, der gælder for forskellige ydre betingelser, er udarbejdet af G. Kårfalk. Det femte er beregnet som det vejede middeltal af spektrene 1 til 4. Vejningen er sket på energibasis. Resultaterne af beregningerne er angivet skematisk i figur 17. De beregnede I_a -værdier er angivet i skemaets 3.kolonne, de fem næste kolonner angiver $\Delta L(A)_{eq}$, og kolonnerne 9 til 13 differenserne mellem I_a og $\Delta L(A)_{eq}$ for de fem spektre. I figur 18 ses sammenhængen mellem $\Delta L(A)_{eq}$ for de fem spektre og I_a . Der er god korrelation for de enkelte spektre, men nogen spredning afhængig af de ydre betingelser, dvs. de valgte spektre. I figur 19 ses sammenhængen, regressionslinien, mellem $\Delta L(A)_{eq}$ for spektrum 5 og I_a . Ved beregninger med en alternativ vurderingskurve for luftlydisolation kan der findes bedre korrelation med $\Delta L(A)_{eq}$ for de enkelte spektre, men regressionsliniernes beliggenhed er stort set den samme som i figur 18.

Undersøgelser af, om en eventuel anvendelse af alternative kurveforløb for I_a ville være mere fordelagtig end det i ISO/R717 benyttede kurveforløb viser, at nok kan der opnås en lidt bedre overensstemmelse mellem I_a -alternativer og $\Delta L(A)_{eq}$, men uden at der er signifikans for, at det i praksis vil føre til en nøjagtigere, generel vurderingsmetode. Derimod vil det føre til, at bygningsdeles lydisolation skal karakteriseres efter forskellige metoder, når de anvendes ude eller inde. Fx. vil klassifikation af disse have to vurderingsklasser.

Sammenhæng mellem $\Delta L(A)_{eq}$ og I_a

På grundlag af resultaterne i figur 17 til 19 kan der udledes følgende sammenhæng mellem I_a og ΔL_{eq} :

$$I_a \leq \Delta L(A)_{eq} + 10 \text{ for } S = A \quad (11)$$

I 75 % af tilfældene vil I_a være "sikkert" bestemt af

$$I_a = \Delta L(A)_{eq} + 5 \text{ for } S = A \quad (11a)$$

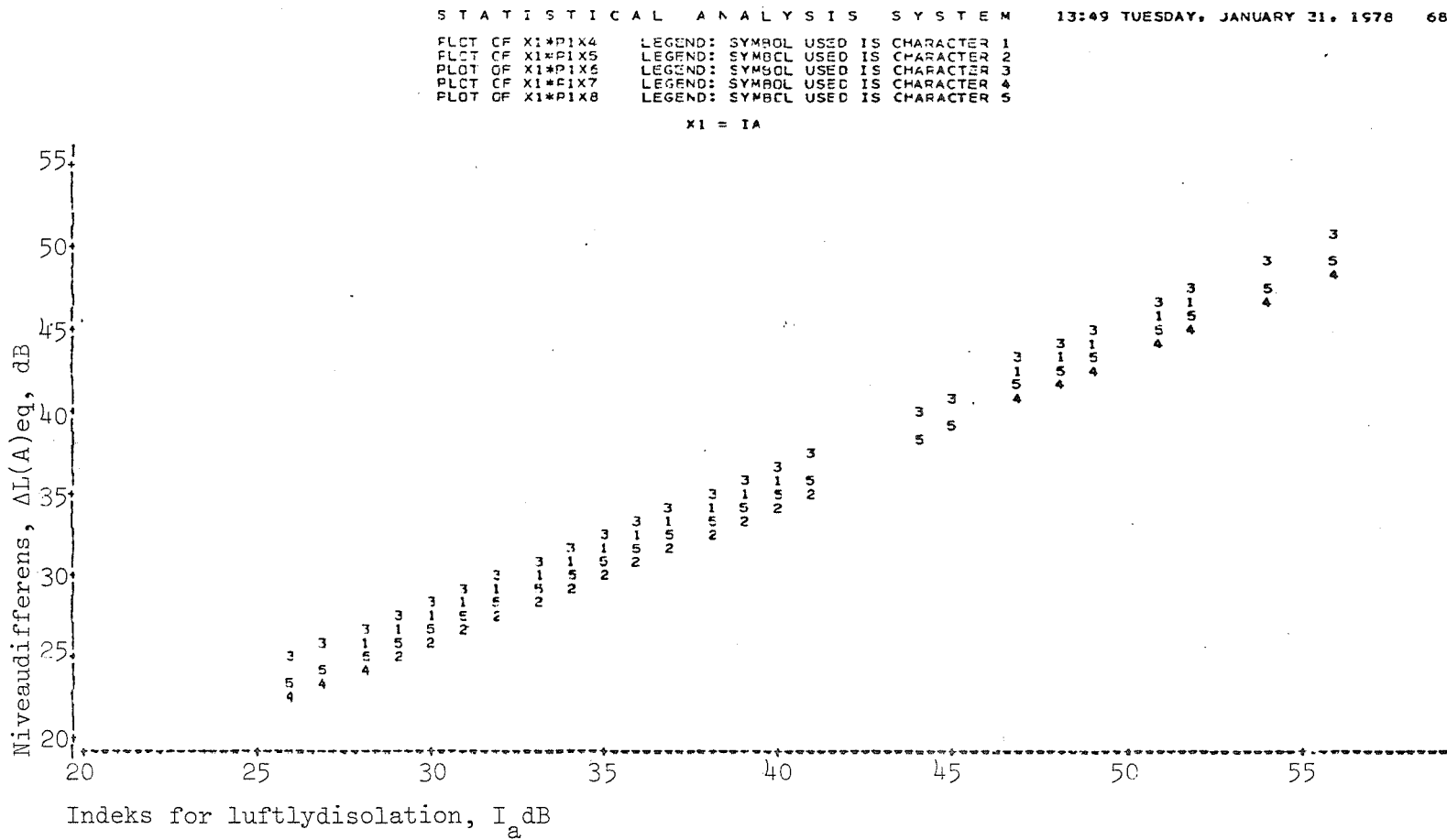
Ved $\Delta L(A)_{eq}$ forstås differensen mellem $L(A)_{eq,u}$ og $L(A)_{eq,i}$ i dB(A).

		OBS	REF	T ₁	$\Delta L(A)_{eq}$ Spektrum					$I_a - \Delta L(A)_{eq}$ Spektrum				
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
e.v.indue	Saint Gobain	1	1	26	25	24	26	25	24	1	2	0	1	2
do	do	2	2	31	28	27	29	28	27	3	4	2	3	4
do	LA, Dth	3	3	29	28	27	29	27	28	1	2	0	2	1
termorude	Fasold	4	4	28	25	24	26	24	25	3	4	2	4	3
do.	do.	5	5	30	27	26	28	26	26	3	4	2	4	4
do.	Saint-Roch	6	6	28	26	25	28	26	26	2	3	0	2	2
do.	LA, Dth	7	7	31	28	27	31	27	27	3	4	0	4	4
do.	LL, Dth	8	8	28	27	26	29	26	26	1	2	-1	2	2
d.v.indue	Fasold	9	9	35	30	28	31	28	29	5	7	4	7	6
do.	do.	10	10	36	31	29	31	29	29	5	7	5	7	7
do.	do.	11	11	40	34	32	35	32	33	6	8	5	8	7
do.	Ingenansson	12	12	38	34	31	34	32	32	4	7	4	6	6
do.	do.	13	13	41	39	38	40	38	39	2	3	1	3	2
do.	do.	14	14	44	42	40	42	40	41	2	4	2	4	3
do.	LL, Dth	15	15	30	28	27	28	27	27	2	3	2	3	3
do.	BAH, Berlin	16	16	49	46	44	46	44	45	3	5	3	5	4
do.	CTH	17	17	26	25	24	25	24	24	1	2	1	2	2
do.	do.	18	18	35	31	29	33	30	30	4	6	2	5	5
d.v.indue med termorude LL, Dth	do.	19	19	51	48	46	48	46	46	3	5	3	5	5
do.	do.	20	20	49	45	43	46	44	44	4	6	3	5	5
d.v.indue	LL, Dth	21	21	37	35	33	36	34	34	2	4	1	3	3
do.	do.	22	22	34	32	31	34	31	32	2	3	0	3	2
do.	do.	23	23	39	36	35	36	35	36	3	4	3	4	3
d.v.ind. n. termor. BAH, Berlin	do.	24	24	52	49	47	50	48	48	3	5	2	4	4
do	LL, Dth	25	25	39	36	35	37	35	35	3	4	2	4	4
d.v.indue	do.	26	26	38	35	34	36	34	35	3	4	2	4	3
do.	CTH	27	27	40	37	34	38	35	35	3	6	2	5	5
d.v.indue	T.U. Braunschweig	28	30	51	47	45	48	45	46	4	6	3	6	5
do.	do.	29	31	47	41	39	40	38	39	6	8	7	9	8
Termorude	do.	30	32	35	32	31	34	31	31	3	4	1	4	4
do.	do.	31	33	35	33	31	34	32	32	2	4	1	3	3
do.	do.	32	34	35	28	26	31	27	27	7	9	4	8	8
d.v.indue	do.	33	35	54	49	47	49	47	48	5	7	5	7	6
Ydervæg, let	do.	34	36	40	35	33	36	34	34	5	7	4	6	6
do.	do.	35	37	34	32	31	32	31	31	2	3	2	3	3
do.	do.	36	38	41	35	33	36	33	34	6	8	5	8	7
do.	do.	37	39	44	38	35	38	35	36	6	9	6	9	8
do.	do.	38	40	45	40	38	39	37	38	5	7	6	8	7
do.	do.	39	41	48	44	42	45	42	43	4	6	3	6	5
Tag	do.	40	42	27	24	23	25	23	24	3	4	2	4	3
do.	do.	41	43	51	47	46	48	46	46	4	5	3	5	5
do.	do.	42	44	47	39	37	38	36	37	8	10	9	11	10
do.	do.	43	45	49	40	38	39	37	39	9	11	10	12	10
do.	do.	44	46	48	41	39	40	38	39	7	9	8	10	9
do.	do.	45	47	54	50	47	50	47	48	4	7	4	7	6
Ydervæg, let	A/S Rockwool	46	48	32	30	30	30	30	30	2	2	2	2	2
do.	do.	47	49	32	30	30	30	30	30	2	2	2	2	2
d.v.indue	Lars Hordlund	48	50	27	25	23	26	24	24	2	4	1	3	3
do.	do.	49	51	29	27	26	28	26	26	2	3	1	3	3
do.	do.	50	52	32	28	26	30	27	27	4	6	2	5	5
do.	do.	51	53	28	25	23	27	24	24	3	5	1	4	4
do.	do.	52	54	27	24	23	25	23	24	3	4	2	4	3
do.	do.	53	55	28	26	24	27	25	25	2	4	1	3	3
do.	do.	54	56	29	27	26	28	26	26	2	3	1	3	3
do.	do.	55	57	28	26	25	26	25	25	2	3	2	3	3
do.	do.	56	58	32	28	26	28	26	27	4	6	4	6	5
do.	do.	57	59	27	24	22	24	23	23	3	5	3	4	4
do.	do.	58	60	32	30	29	30	29	29	2	3	2	3	3
do.	do.	59	61	29	27	26	28	27	27	2	3	1	2	2
do.	do.	60	62	33	30	28	31	29	29	3	5	2	4	4
do.	do.	61	63	31	28	26	30	26	27	3	5	1	5	4
do.	do.	62	64	34	32	31	33	31	32	2	3	1	3	2
do.	do.	63	65	29	26	25	28	25	25	3	4	1	4	4
do.	do.	64	66	31	26	23	26	24	24	5	8	5	7	7
do.	do.	65	67	31	28	27	29	27	27	3	4	2	4	4
do.	do.	66	68	35	30	28	31	28	29	5	7	4	7	6
do.	do.	67	69	30	26	24	27	25	25	4	6	3	5	5
do.	do.	68	70	56	52	50	54	51	51	4	6	2	5	5
do.	do.	69	71	48	45	44	46	44	44	3	4	2	4	4

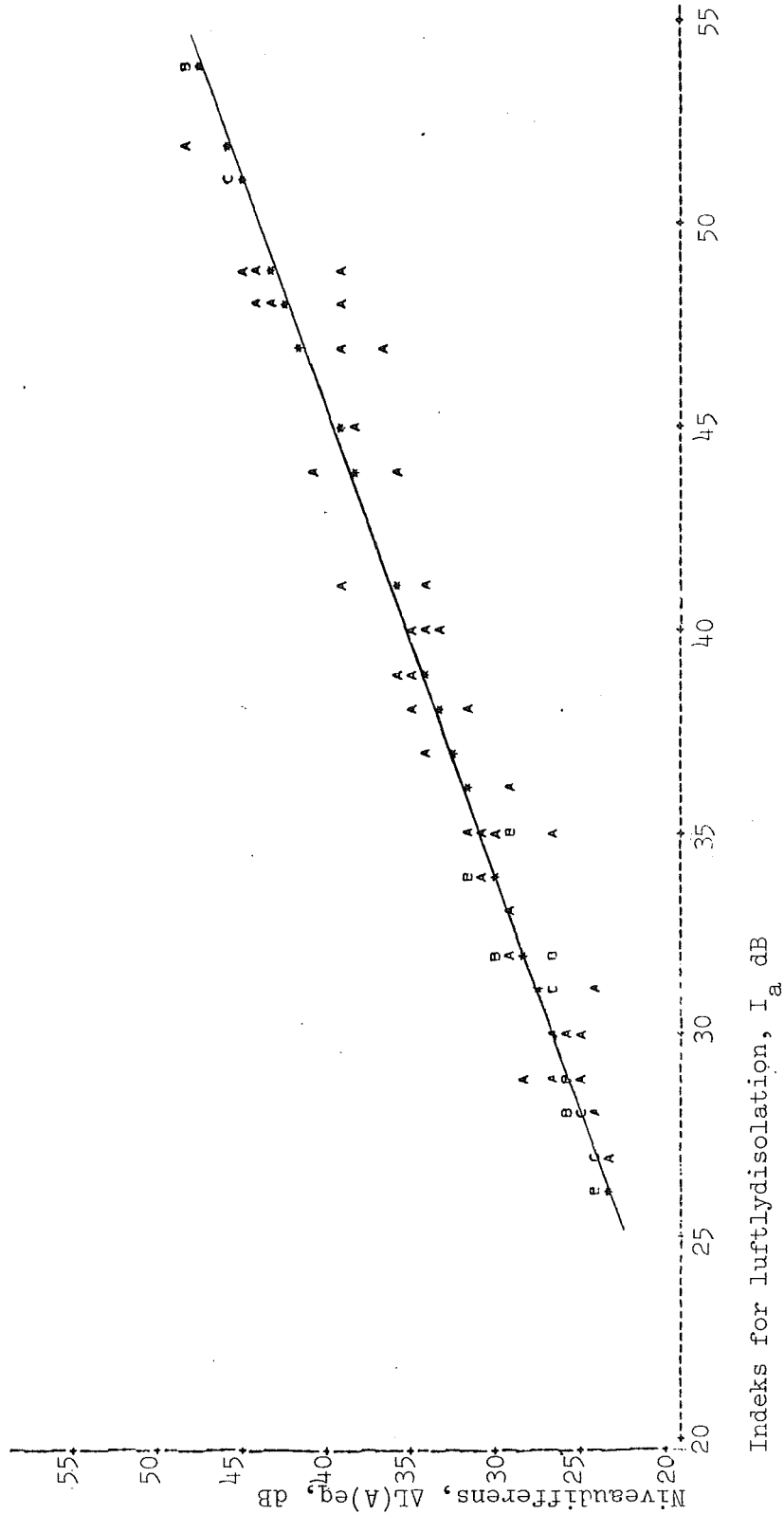
Middelværdi: 3,4 5,0 2,7 4,8 4,8
Standardafvigelse: 1,67 2,11 2,11 2,00 2,0

Figur 17. Oversigten viser resultater af en vurdering af 69 konstruktioner i forhold til 5 forskellige trafikspektre. Spektrum nr. 5, der er dannet som middelværdi af de øvrige fire, er vist i figur 16.

Figur 18. Sammenhæng mellem I_a og $\Delta L(A)_{eq}$ for 5 generaliserede trafikspektre.



S T A T I S T I C A L A N A L Y S I S S Y S T E M 13:49 TUESDAY, JANUARY 31, 1978 65
 PLOT OF XI*X8 LEGEND: A = 1 OBS, B = 2 OBS, ETC
 PLOT OF XI*PIX8 LEGEND: SYMBOL USED IS CHARACTER *
 XI = IA X8 = LAS



Figur 19. Niveaudifferensen $\Delta L(A)$ for trafikspektrum 5 som funktion af I_a . Den indtegnede linje svarer til regressionslinien. Korrelationskoefficienten = 0,975.

I praksis vil S være forskellig fra A , og der fås på grundlag af (11a) følgende udtryk for lydisolationen:

$$I_a = \Delta L(A)_{eq} - 10 \log \frac{A}{S} + 5 \text{ dB} \quad (12)$$

Mellem antallet af absorptionsenheder A for et rum og rummets volumen V samt dets efterklangstid t består følgende relation:

$$A = \frac{0,16 V}{t} \text{ m}^2 \text{ sab.} \quad (13)$$

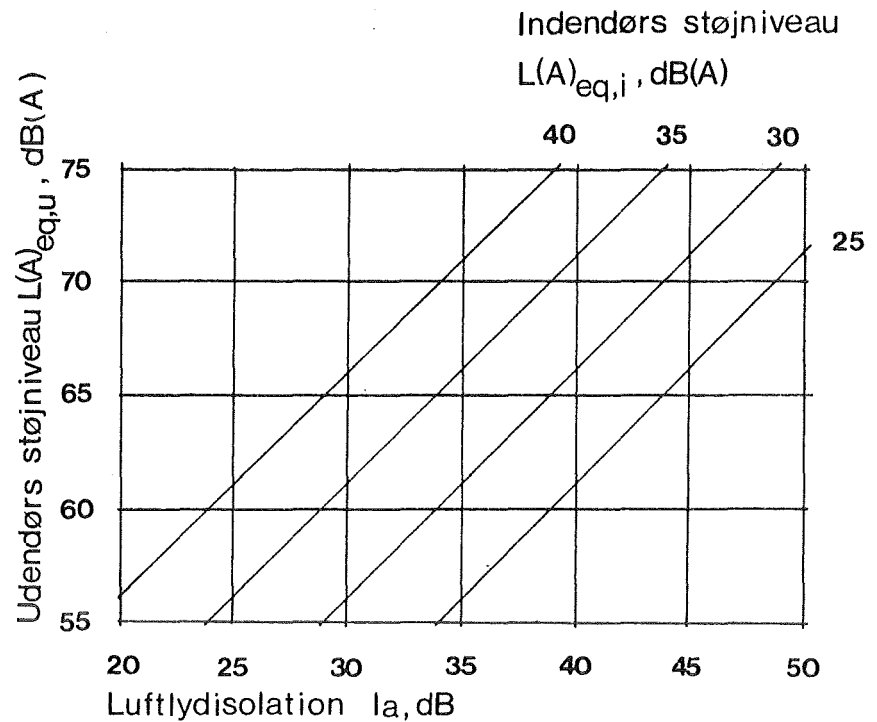
Efterklangstiden kan for boliger uden væsentlige fejl sættes til 0,5 sekunder, for skoler til ca. 0,8 sekunder og for kontorer fra ca. 0,5 til 1,0 sekunder. Erstattes voluminet med gulvareal G gange rumhøjde h kan (13) ændres til:

$$I_a = \Delta L(A)_{eq} - 10 \log \frac{0,16 Gh}{St} + 5 \text{ dB} \quad (12a)$$

En beregning af den nødvendige facadeisolation kan gennemføres, når udendørsniveauet kendes, og indendørsniveauet er fastlagt. De øvrige størrelser bortset fra I_a er konstanter, som kendes i en given bygning. Indsættes for konstanterne hyppigt forekommende værdier, viser det sig, at udtrykket (12a) både for boliger, skoler og kontorer med god tilnærmelse kan reduceres til:

$$I_a = L(A)_{eq,u} - L(A)_{eq,i} + 4 \text{ dB} \quad (12b)$$

Dette udtryk er med I_a som uafhængig variabel og $L(A)_{eq,i}$ som parameter afbildet i figur 20.



Figur 20. Den nødvendige lydisolationsniveau for facader angivet ved I_a i afhængighed af det udendørs støjniveau $L(A)_{eq,u}$ og med det indendørs støjniveau $L(A)_{eq,i}$ som parameter.

Formulering af krav til brug i byggebestemmelser

Med udgangspunktet i udtrykket (12b) kan krav formuleres ved at fastsætte de ønskede indendørsniveauer. Disse kan fx fastsættes til 25, 30 og 35 dB(A) for henholdsvis boliger (inklusive sygehuse), skoler og kontorer, og således at niveauerne må stige 5 dB i områder med særligt højt baggrundsstøjniveau. I flere lande anvendes lignende bestemmelser. I lande, hvor man har byggebestemmelser, der med hensyn til lydisolationsniveau i boliger ligner de danske bestemmelser, anvendes I_a som dimensionsgivende størrelser.

Med valg af I_a som mål for lydisolationsniveau og udgangspunkt i (12b), kan der opstilles det i figur 21 angivne skema for facaders lydisolationsniveau, hvor kravene ikke stilles glidende, som det kunne ske ved brug af figur 20, men trinvis i spring på 5 dB.

I praksis vil anvendelse af værdierne i figur 21 som mindsteværdier for vinduers lydisolationsniveau, når vinduerne er indsat i yderkonstruktioner med mindst 5 dB større lydisolationsniveau, indebære en rimelig sikkerhed mod, at et enkelt forbigående køretøj frembringer et maksimalt støjniveau, som overstiger det tilstræbte indendørs støjniveau $L(A)_{eq(24)}$ med mere end 15-20 dB.

Udendørs eksponeringsniveau $L(A)_{eq(24)}$	Indendørs støjniveau $L(A)_{eq(24)}$ dB(A)			
	25	30	35	40
≤ 55	30	25	25	25
56 - 60	35	30	25	25
61 - 65	40	35	30	25
66 - 70	45	40	35	30
71 - 75	50	45	40	35
76 - 80	-	50	45	40
≥ 81	-	-	50	45

sygehuse boliger skoler kontorer
 boliger skoler kontorer

Figur 21. Den nødvendige lydisolations for facader angivet ved I i afhængighed af eksponeringsniveau og tilstræbt indendørsniveau. Der er angivet hvilke støjniveauer, som bør anvendes til fire forskellige anvendelsesformål. Når der med undtagelse af sygehuse er angivet to niveauer betyder det, at der kan skelnes mellem områder med stor forskel mellem dag- og natniveau. De laveste værdier bør kun anvendes, når natniveauet er meget lavt. En streg markerer, at det kun undtagelsesvis vil kunne lade sig gøre at opnå det tilstræbte indendørsniveau.

Byggerier der bør omfattes af eventuelle krav

Det må anses for naturligt at nyt byggeri pålægges krav med hensyn til lydisolations mod trafikstøj. Men også for eksisterende byggerier vil det være ønskeligt at kunne vurdere de isoleringskrav, der opstår ved ændringer af trafikforhold. Det mest udbredte isoleringsbehov findes i den ældre bygningsmasse, men her kan den nødvendige forøgelse af varmeisolationen naturligt kobles sammen med en forbedring af lydisolations i forbindelse med bygningsfornyelse.

Implementering af eventuelle krav om lydisolations

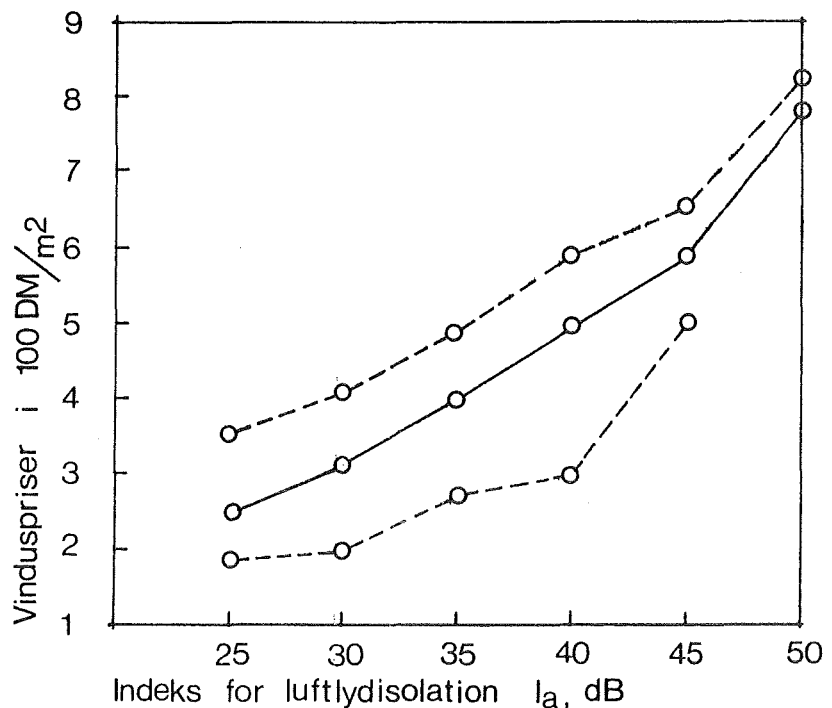
Hvis der indføres et krav om lydisolations til facader, fx baseret på skemaet i figur 21 eller på dele deraf, bliver det aktuelt at se på vinduers lydisolations. Det er nærliggende at se på, hvorledes tilsvarende problemer løses for døres lydisolations. Gennem en standardisering i lydklasser og med en tilhørende mærkningsordning er døres lydtekniske kvalitet ensartet vurderet i de nordiske lande. En tilsvarende ordning kun-

ne gennemføres for vinduer. Herved ville problemet for de projekterende teknikere indskrænke sig til at få foretaget en bestemmelse af de forventede udendørsniveauer, beregnet eller målt. De lokale myndigheder kan også tænkes at have interesse i at udarbejde kort, som angiver støjniveauet i byområder. Sådanne kort findes fx udarbejdet over Stockholm og over store dele af London og Paris. Der findes i øjeblikket en række oplysninger om støjforholdene i København, uden at der dog er tale om en samlet oversigt. Hvis generelle oplysninger om støjforhold fandtes, ville det ved hjælp af en klassifikation af vinduer være en relativ enkel sag at administrere bestemmelser om facaders lydisolations.

Prisen for lydisolations

Lydisolations kan ikke gennemføres uden omkostninger, men omkostningerne kan formindskes betydeligt, når de kombineres med energibesparende foranstaltninger, idet lydisolierende foranstaltninger i de fleste tilfælde også vil være varmebesparende. Omvendt vil energibesparende foranstaltninger i mange tilfælde ikke forbedre lydisolations.

Det er vanskeligt at vurdere prisen på lydisolierende foranstaltninger. I figur 22 vises en tysk angivelse af prisen



Figur 22. Prisen for vinduer i DM pr. m² 1973/74 ved levering af 100 stk. "drehflügel" vinduer af 1,5 m² uden transport og omkostninger. (Efter W. Moll).

for vinduer som funktion af deres lydisolation. En sådan afhængighed kan tilsyneladende findes for nye vinduer, men for ældre vinduer viser andre undersøgelser, at den ikke er relevant. Beskedne ændringer af eksisterende vinduer kan undertiden forøge isolationen væsentligt uden større omkostninger. Ifølge svenske overvejelser er merprisen ved lydisolerende vinduer i forhold til normale vinduer, når der tales om vinduer med moderat lydisolation, $I_a = 35-40$ dB, meget løsningsafhængig. Den kan variere fra under 5 % til 100 % af det normale vindues pris.

Nogle konsekvenser af eventuelle krav til facaders lydisolation

Kortlægning af støjniveauet i byområder viser, at en betydelig del af bybefolkningen lever i bygninger, som ligger i områder, hvor det udendørs støjniveau er højere end $L(A)_{eq(24)} = 55$ dB. Der foreligger enkelte undersøgelser, som belyser sammenhængen mellem udendørs støjniveau og antallet af beboere i bygninger, der er udsatte for det givne udendørs støjniveau. I Sverige er foretaget en sådan undersøgelse, og figur 23 viser nogle resultater fra undersøgelsen.

Procentdel af et områdes beboere, som lever i bygninger med udendørs støjniveau i følgende støjklasser:

Støjklasser	55	60	65	70	75	dB(A)
Stockholm inner stad	12	14	27	24	23	
svenske byer over 100.000 indbyggere	18	22	12	9	2	
50-100.000 indbyggere	24	15	11	2	0	
10-50.000 indbyggere	12	13	9	0	0	
under 100.000 indbyggere	9	4	0	0	0	

Figur 23. Oversigt over beboeres levevilkår med hensyn til udendørs støjniveau (døgnmiddelniveau) ved deres boliger. (Delvis efter SOU:60).

I en skematisk oversigt vises histogrammer for, hvorledes antallet af beboere fordeler sig i støjklasserne over 55 dB(A).

Resultaterne antyder noget om støjproblemets størrelse. For Københavns vedkommende kan det, uden at der begås væsentlige fejl antages, at forholdene i den indre by og brokvartererne stort set svarer til forholdene i Stockholms innerstad. Det må påregnes, at beboere i bygninger langs trafikerede gader og veje i byer generelt har behov for en forøget lydisolat-ion.

Med en forbedret lydisolat-ion kan også følge nye problemer. Vinduer med stor lydisolat-ion er i almindelighed mere tætte end normale vinduer. Det kan skabe problemer med hensyn til ventilation, således at det i nogle tilfælde kan blive nød-vendigt med lydtekniske foranstaltninger i form af lyddæm-pende ventilationskanaler ved både indtag og afkast.

Vinduer med stor lydisolat-ion sænker baggrundsstøjniveauet i boliger. Det kan medføre, at beboer i ældre boliger kan høre støj fra naboer, som de ikke tidligere har kunnet høre. I den yderste konsekvens kan det føre til krav om bedre lydiso-lat-ion mellem boligerne.

Litteratur

Artikler
og rapporter

D. Aubrée, S. Auzou et J. M. Papin. Le bruit des rues et la Gene Exprimée par les rivuains. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment No. 138. Avril 1973, Cahier 1174.

O. Brandt. Ljudisolering hos fönster och glaspartier. Teknisk Tidsskrift, 1954, pag. 1129.

E. Buchta. Gehörriichtige Dämmung der Verkehrsgeräusche durch Fenster. Lärmbekämpfung 1969, pag. 149/58.

Byggforskningen och Folkhälsan. Trafikbuller i bostadsråden. Byggforskningen rapport 36/68, Stockholm 1968.

A. Böhm m.fl. Höhere Schalldämmung bei Fenstern im Wohnungsbau. Forschungsbericht 83, Österreichisches Institut für Bauforschung, Wien 1974.

A. Cops, H. Myncke and G. Vermeir. Insulation of Reverberant Sound through Double and Multilayered Glass Constructions. Acoustica 1975. Vol. 33, pag 257.

A. Eisenberg. Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen. I) Fest eingebaute Einfachscheiben. II) Fest eingebaute Doppelverglasungen. Glastechnische Berichte 1958, pag. 297 und 1961, pag. 544.

A. Eisenberg. Schalldämmungsmessungen an Glasscheiben in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 1959, hefte 4/5 pag. 113.

A. Eisenberg. Schalldämmung von Fenstern und Aussenwänden. Kampf dem Lärm, pag. 94.

A. Eisenberg. Schalldämmung von Fenstern. Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, Berlin 1969.

Galloway, Schultz m.fl. Chicago Urban Noise Study. Bolt Beranec and Newman Inc. 1970.

H. Gilbert. Une étude sur la protection des habitations contre les bruits extérieurs penetrant par les facades. Cahiers du centre Scientifique et Technique du Batiment, No. 103. Octobre 1969 Cahier 901.

H. Gummlich, F. Roedler, J. Wegner, P. Schneider und W. Rückward. Schallschützenden Bauteilen für städtebauliche Massnahmen gegen Verkehrs- und Fluglärm. Schriftenreihe des Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Bonn 1974.

A. C. Hardy and P. T. Lewis. Sound Insulation Standards for Buildings Adjacent to Urban Motorways. Journal of Sound and Vibration 1971, pag. 53.

R. Hottinger. Die Schallisolation von Fenstern, Schweizerische Bauzeitung 1973, pag. 861.

- H. Hvidtfeldt. Støj i byen, del I. SBI-byplanlægning 26, København 1974.
- S. Ingemansson. Ljudisolerande fönsterkonstruktioner. CTH Rapport A-540, Göteborg 1966.
- S. Ingemansson. Ljudisolerande fönsterkonstruktioner. Byggmästaren 1967, pag. 58.
- S. Ingemansson. Ljudisolerande fönsterkonstruktioner. Byggeforskningen, Rapport 3/68. Stockholm 1968.
- S. Ingemansson. Insulation against Traffic Noise. Inter Noise 1973. Proceeding.
- S. Ingemansson. Ljudisolerande fönster med lamell- och stapelglas. Byggmästaren 1978, pag. 17.
- S. Ingemansson och S. Ljunggren. Bullerproblem vid trafikleder. Byggeforskningen R20:1970. Stockholm 1970.
- C. Inman. The use of Glass for Sound Insulation. Noise Control Vibration and Insulation, 1976, pag. 78.
- G. Kårfald. Generaliserat Trafikbullerspektra. Arbetshandling CTH. Göteborg 1977.
- T. Kihlman, B. Lundquist och B. Nordland. Trafikbullerstudier. Byggeforskningen, rapport 38/68. Stockholm 1968.
- A. Kjær. Vinduers lufttæthed, regntæthed og stivhedsforhold. SBI-notat 26. København 73.
- J. Langdon and I. B. Buller. The effects of road traffic noise in residential areas. Building research Establishment, Current Paper CP 10/77. Garston 1977.
- P. A. Lange. Sound Insulation of Glazing with Respect to Traffic Noise. Applied Acoustics, 1969, pag. 215.
- S. Ljunggren. Fönsters isolering mot trafikbuller. Rapport från Byggeforskningen R46:1973. Stockholm 1973.
- R. K. Mackenzie and J. J. Williamson. The Cost Effectiveness of double Glazing Against Traffic Noise in Domestic Situations. Build International 1974, pag. 127.
- A. March. The Airborne Sound Insulation of Glass. Applied Acoustics 1971, pag. 55, 131 og 175.
- N. Moll. Dämmung des Aussenlärms durch Fenster. Kampf dem Lärm 1974, pag. 136.
- Lars Nordlund. Ljudisolering hos Fasadkonstruktioner i befintlig bebyggelse. Byggeforskningen R2:1977. Stockholm 1977.
- Oslo Helseråd. Forbedring af lydisolering i boligfasader, rapport nr. 3. Oslo 1977.

Hale J. Sabine, M. B. Lacher, D. R. Flynn and T. L. Quindry. Acoustical and Thermal Performance of Exterior Residential Walls, Doors and Windows. NBS Building Science Series 77. Washington 1975.

P. Schneider. Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbau bedingungen. Bericht Nr. 6. Bundesanstalt für Materialprüfung. (BAM) Berlin 1971.

B. Szudrowicz. Mess- und Bewertungsmethode der Luftschalldämmung von Fenstern. Lärmbekämpfung 1973, pag. 69.

W. A. Utley and B. I. Fletcher. Influence of edge conditions on the sound insulation of Windows. Applied Acoustics 1969, pag. 131.

Normer, reglementer, anvisninger m.v. Boligministeriet. Bygningsreglementet. København 1977.

DIN 4109. Ergänzende Bestimmungen, Richtlinien für bauliche Massnahmen zum Schutz gegen Aussenlärm. September 1975.

ISO/DIS140/V. ISO Draft International Standard. Acoustics-Measurement of Sound Insulation in buildings of building elements - Part V: Field Measurement of airborne sound insulation of facade elements and facades. Forventes at foreligge som international Standard i slutningen af 1978.

ISO/R717. ISO Recommendation. Rating of sound Insulation for Dwellings. May 1968.

VDI 2719. Schalldämmung von Fenstern. Oktober 1973.

Miljøstyrelsens vejledning nr. 2: Miljøhensyn ved planlægning. København 1974.

Nordisk komité for bygningsbestemmelser. NKB-skrift nr. 17: Støj og byplan.

Nordiska Ministerrådet, projektgruppe. Beräkningsmodell för vägtrafikbuller. Forventes udsendt i løbet af 1978.

Statens offentlige udredninger, kommunikationsdepartementet. Trafikbuller, del I: Vägtrafikbuller. SOU 1974:60. Stockholm 1974.

Statens planverk. Sämhällsplanering och vägtrafikbuller. Rapport 22. Stockholm 1972.

Teknologisk Institut. Isætning af termoruder i nyt og gammelt byggeri. København 1976.