



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



# Rapport

# R46:1973

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

# Fönsters isolering mot trafikbuller

## Sten Ljunggren

# Byggforskningen

*En bestämning av ljudisoleringen hos ett fönster utförs normalt i laboratorium. De akustiska förhållandena vid en sådan mätning skiljer sig ganska avsevärt från vad som kan förväntas när fönstret har monterats i en husfasad och utgör isolering mot exempelvis trafikbuller. I denna rapport ges en teoretisk och experimentell behandling av vissa aspekter av denna problemställning.*

Genom det kraftigt ökande trafikbullret har ljudisoleringen hos fönster blivit ett alltmer aktuellt problem. En lång rad speciellt bullerdämpande konstruktioner har i konsekvens med detta också sett dagens ljus. Vissa problem uppstår emellertid vid bedömningen av fönsters ljudisolering och syftet med föreliggande rapport är att närmare belysa dessa problem.

Ljudisoleringen hos en konstruktion uppmäts i allmänhet i ett laboratorium och anges i form av ett reduktionstal som funktion av frekvensen. I laboratoriet råder mycket specifika ljudförhållanden som inte är representativa för det fall konstruktionen monteras i en fasad och avses ge isolering mot trafikbuller.

Värderingen i fältfallet — dvs när fönstret sitter i en fasad och infallande ljud kommer från en rörlig ljudkälla — beror i hög grad på vilket bullermått som väljs för beskrivning av bullerstörningarna. I Sverige har man nu gått in för att använda den sk effektnivån,  $L_{eff}$ , eller som den ofta också kallas, ekvivalenta ljudnivån, varför detta bullermått genomgående förutsatts i detta arbete.

Med hjälp av en förenklad teoretisk modell studeras i rapporten laboratorierespektive fältfallet. Resultatet visar, att ungefär samma reduktionstal bör erhållas i de båda fallen om vissa förutsättningar är uppfyllda. Inskränkningarna berör bl a fasadens orientering mot trafikleden och dennas exponering. För det fall fasaden ligger längs med och nära en mycket lång gata är i allmänhet förutsättningarna uppfyllda. Det teoretiska

resultatet styrks här av mätningar som alltså ger ungefär samma reduktionstal i fält som i laboratorium. Undantag uppträder bl a när fasaden ligger vinkelrätt mot gatan, varvid reduktionstalet i fältfallet tycks bli lägre än i laboratoriet. Undantagen synes inte vara av dimensionerande betydelse varför man generellt bör kunna använda det laboratoriemätta reduktionstalet för bedömning av konstruktionen.

Sambandet mellan ljudtrycksnivån ute och inne beror förutom på fasadens reduktionstal,  $R$ , även på rummets fasadarea,  $S$ , och rummets absorption  $A$ . Teoretiskt har följande samband härletts

$$L_S - L_M = R + 10 \log\left(\frac{\pi A}{2S}\right) - 6 \text{ dB}$$

där  $L_S$  är ljudtrycksnivån hos infallande ljud och  $L_M$  ljudtrycksnivån i mottagarrummets efterklangsfält. Detta samband gäller inte generellt, utan enbart under vissa förutsättningar (samma som för överensstämmelsen mellan reduktionstalen). Jämfört med sambandet för nivåskillnaden mellan två rum i en byggnad ger sambandet ovan ca 2 dB högre skillnad.

Speciellt vid mätningar av fasadisolering är det av vikt att känna fasadens inverkan på det infallande ljudet. Denna beräknas i rapporten för ett typfall.

För entalsvärdering av fasadkonstruktioner föreslås ett isoleringsindex  $I_{CN}$ , av samma typ som det väletablerade  $I_{cr}$ , använt för isoleringen mellan två rum. Viktningskurvan för  $I_{CN}$  har erhållits genom en sammanvägning av effektivnivåspektra för olika typer av bullerkällor (väg- och gatutrafik, tåg samt flyg), och består av en rät linje mellan 100 och 5 000 Hz med lutning + 3 dB/oktav.

För gatutrafikbuller är  $I_{CN}$  approximativt lika med skillnaden i effektiva ute-inne; för tågbuller är  $I_{CN}$  genomsnittligt 2 dB mindre än denna skillnad. Avvikelserna från dessa båda samband är små hos de undersökta konstruktionerna.

Nyckelord:

*ljudisolering, fönster, fasad, trafikbuller*

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 707 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB.

UDK 69.028.2  
699.844  
SfB (31) X  
ISBN 91-540-2161-8

Sammanfattning av:

Ljunggren, S., 1973, *Fönsters isolering mot trafikbuller*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R46:1973, 37 s., ill. 14 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60  
Grupp: konstruktion



# Insulation of windows against traffic noise

Sten Ljunggren

*Determination of the sound insulation of a window is normally performed in a laboratory. Acoustic conditions during such a measurement are quite appreciably different from those to be expected when the window has been mounted in the facade of a building and serves as insulation against e.g. traffic noise. This report presents a theoretical and experimental treatment of certain aspects of this problem.*

Owing to the rapid increase in traffic noise, sound insulation of windows is becoming a problem of increasing importance. A great number of designs with the special object of attenuating noise have been produced. There are however some problems which arise when the sound insulation properties of a window are to be assessed, and the object of this report is to examine this problem in greater detail.

The sound insulation of a construction is generally measured in a laboratory and is quoted in the form of a transmission loss as a function of the frequency. Sound conditions in a laboratory are very special and are not representative of the case when the construction is mounted in the facade of a building and is to provide insulation against traffic noise.

Evaluation of the insulation in the field — i.e. when the window is mounted in the facade and the incident sound is received from a moving source — depends to a great extent on the unit chosen for description of the nuisance due to the noise. The equivalent steady level  $L_{eff}$  or equivalent sound level as it is also often referred to, is now generally used in Sweden, and it is therefore assumed in this report that this unit is used.

The report studies laboratory and field conditions with the aid of a simplified theoretical model. The results show that, provided that certain conditions are satisfied, the transmission loss obtained in the two cases should be approximately the same. The conditions relate to the orientation of the facade with regard to the traffic route, its degree of exposure, etc. In the case when the facade is situated along and very near a very long street, the conditions are generally satisfied. The theoretical result is confirmed in this case by measurements which produce approximately the same

transmission loss in the field as in the laboratory. A difference occurs, however, when the facade is perpendicular to the street, and in this case the transmission loss in the field appears to be lower than in the laboratory. It does not appear that this difference is significant enough to influence design, and the transmission loss measured in the laboratory can therefore generally be used for the assessment of the construction.

The relation between the sound pressure level outside and inside, in addition to the transmission loss  $R$  of the facade, also depends on the facade area  $S$  of the room and the absorption  $A$  of the room. The following theoretical relation has been derived:

$$L_S - L_M = R + 10 \log \left( \frac{\pi A}{2S} \right) - 6 \text{ dB}$$

where  $L_S$  is the sound pressure level of the incident sound and  $L_M$  the sound pressure level in the reverberation field of the receiving room. This relation does not hold generally but only under certain conditions (the same as those applicable to the agreement between transmission losses). Compared with the relation for the difference in level between two rooms in a building, the above relation gives a difference that is about 2 dB higher.

Particularly in measuring the insulation of a facade, it is important that the influence of the facade on the incident sound should be known. This is calculated in the report for a typical case.

For single assessments of facade constructions, an insulation index  $I_{CN}$  of the same type as the well-established  $I_a$  used for the insulation between two rooms, is proposed. The weighting curve for  $I_{CN}$  has been obtained by considering equivalent steady level spectra relating to different types of noise source (road and street traffic, trains and aircraft), and consists of a straight line between 100 and 5000 Hz, with a slope of +3 dB/octave.

For street traffic noise,  $I_{CN}$  is approximately equal to the difference between the equivalent steady levels inside and outside; for train noise  $I_{CN}$  is on average 2 dB lower than this difference. The deviations from these two relations are small in the constructions which have been studied.

## National Swedish Building Research Summaries

R46:1973

Key words:

sound insulation, window, facade, traffic noise

This report refers to research grant C 707 from the Swedish Council for Building Research to Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Gothenburg.

UDC 69.028.2  
699.844  
SfB (31) X  
ISBN 91-540-2161-8

Summary of:

Ljunggren, S, 1973, *Fönsters isolering mot trafikbuller*. Insulation of windows against traffic noise. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R46:1973, 37 pp., ill. Sw. Kr. 14.

The report is in Swedish with summaries in Swedish and English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden



Rapport R46:1973

FÖNSTERS ISOLERING MOT TRAFIKBULLER

INSULATION OF WINDOWS AGAINST TRAFFIC NOISE

av tekn.lic. Sten Ljunggren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 707 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Göteborg. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2161-8



## FÖRORD

Föreliggande arbete har utförts vid Ingemanssons Ingenjörbyrå AB med ekonomiskt stöd från Byggforskningsrådet.

Ett varmt tack riktas till civ.ing. Stig Ingemansson för hjälp i form av opublicerade mätningar och många värdefulla diskussioner samt civ.ing. Sven-Olof Benjegård och ingenjör Rolf Cedås för arbete i samband med mätningar.

Ett varmt tack riktas också till Glass Develop AB, för tillstånd att publicera figurerna 18-23 som bygger på mätningar som inte utförts av oss.

## INNEHÅLL

CAPTIONS . . . . .	4
1 INLEDNING. . . . .	7
2 DEFINITION AV "SUBJEKTIV" ISOLERING MOT TRAFIKBULLER . . . . .	9
3 LJUDISOLERING I LABORATORIUM OCH I FÄLT (NORMALFALLET) . . . . .	11
4 SPECIELLA PROBLEM. . . . .	23
5 KONSTRUKTION AV ISOLERINGSINDEX MOT SAMHÄLLSBULLER, $I_{CN}$ . . . . .	25
REFERENSER . . . . .	32
APPENDIX A.. . . .	35

## CAPTIONS

## TABLES

- TAB. 1 Values of the factor  $r$  employed.
- TAB. 2  $R^* - 10 \log \frac{\alpha}{\tan \alpha}$  dB for a window construction consisting of double 3 mm panes and an air gap of 80 mm. Calculated values.
- TAB. 3 Comparison between transmission loss expressed in  $R_m$ ,  $I_a$  and  $I_{CN}$ , measured in the laboratory and in the field.  $I_{CN}$  is defined in section 5 of the report.
- TAB. A1 Sound level enhancing effect of facade at ground level ( $\alpha = 0$ ). Third octave bands. Distance from facade 0.5 m.
- TAB. A2 Sound level enhancing effect of facade at ground level ( $\alpha = 0$ ). Octave bands. Distance from facade 0.5 m.

## FIGURES

- FIG. 1 Equivalent sound pressure levels measured simultaneously at two points in a room.
- FIG. 2 Calculated transmission loss (—) for different values of the upper limit of the angle of incidence  $\gamma_L$  and the measured transmission loss (---).
- FIG. 3 Calculated (—) and measured (---) transmission loss. Laboratory conditions.
- FIG. 4 Calculated (—) and measured (---) transmission loss. Laboratory conditions.
- FIG. 5 Definitions of the angles  $\alpha$ ,  $\theta$  and  $\gamma$ .
- FIG. 6 Calculated transmission loss in the laboratory (—) and in the field (---).
- FIG. 7 Calculated transmission loss in the laboratory (—) and in the field (---).
- FIG. 8 Calculated transmission loss in the laboratory (—) and in the field (---).
- FIG. 9  $10 \log \frac{\alpha}{\tan \alpha}$  as a function of  $\alpha$ .
- FIG. 10 Transmission loss measured at two different points in a building with the same window construction.
- FIG. 11 Transmission loss measured at two different points in a building with the same window construction.

- FIG. 12 Transmission loss measured at two different points in a building with the same window construction.
- FIG. 13 Transmission loss measured at two different points in a building with the same window construction.
- FIG. 14 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 15 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 16 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 17 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 18 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 19 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 20 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 21 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 22 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 23 Transmission loss measured in the laboratory (---) and in the field (—) ( $\alpha = 0$ ).
- FIG. 24 Calculated transmission loss at some frequencies for the window in FIG. 8 as a function of the product  $\beta a$ , where  $a$  = distance from the wall and  $\beta$  is the attenuation in dB/m in point-to-point propagation.
- FIG. 25 Transmission loss measured at two points with the same window construction.
- FIG. 26 Average spectrum (—) and standard deviation for this, referred to equivalent steady level. Street traffic noise, 26 measuring points.
- FIG. 27 Evaluation curves for street traffic (—) and road traffic noise (---).
- FIG. 28 Average spectrum for train noise referred to the equivalent steady level. 35 passages, distance 40 m.
- FIG. 29 Evaluation curve for train noise.
- FIG. 30 Maximum octave band levels relative to the A-weighted sound level for two-engined and three-engined jet aircraft with turbofan-type engines. Start (—) and landing (according to Bishop & Horonjeff, 1967).

FIG. 31 Evaluation curves for aircraft noise. Start (—) and landing (---).

FIG. 32 Evaluation curves for some noise types.

—————	$I_{CN}$
—————	Aircraft, starting
-----	Aircraft, landing
-.-.-.-.-	Road traffic
-...-...	Street traffic
.....	Train

FIG. 33 Calculated values of  $I_{CN}$  as a function of the subjective insulation  $L_{AS}-L_{AM}$ . Street traffic noise.

FIG. 34 Calculated values of  $I_{CN}$  as a function of the subjective insulation  $L_{AS}-L_{AM}$ . Train noise.

FIG. 35 Transmission loss of a window construction measured in the field. Foam plastic strip sealing.

FIG. 36 Transmission loss of a window construction measured in the field. Fabric strip sealing.

FIG. 37 Transmission loss of a window construction measured in the field. Fabric strip sealing.

FIG. 38 Transmission loss of a window construction measured in the field. Fabric strip sealing.

FIG. 39 Transmission loss of a window construction measured in the field. Foam plastic strip sealing.

FIG. 40 Transmission loss of a window construction measured in the field. Fabric strip sealing.

FIG. A1 Orientation of co-ordinate system and definition of angles  $\alpha$ ,  $\theta$  and  $\phi$ .

FIG. A2 Interference pattern in front of a vertical acoustically hard surface.

FIG. A3 Influence of a vertical acoustically hard surface on the equivalent steady level due to traffic noise.

En mängd arbeten beträffande ljudisoleringen hos fönster har publicerats under senare år. Dessa arbeten har i allmänhet berört inverkan av konstruktiva förändringar på reduktionstalet, mätt i laboratorium. En fönsterkonstruktion monteras emellertid i allmänhet i en fasad, där den skall isolera mot bullret utanför fasaden. De ljudfält som då råder utanför fasaden är av helt annan karaktär än vad som råder i laboratoriets sändarrum, varför det inte är givet att reduktionstalet för en viss konstruktion blir lika under fält- respektive laboratorieförhållanden. Det är heller inte givet att samma samband råder i de båda fallen mellan reduktionstal och skillnad i ljudtrycksnivå hos infallande ljud och efterklangsfältet i mottagarrummet.

Dessa båda frågeställningar har med några undantag rönt mindre uppmärksamhet. Buchta, Meister & Ruhrberg fann år 1962 att ljudisoleringen i fält stämde nära överens med ljudisoleringen mätt vid vinkelrätt infall mot fönstret. Ett naturligt resultat eftersom ljudisoleringen i fält definierades som skillnaden i maximal ljudtrycksnivå ute - inne när bilar körde förbi fönstret. Eisenberg (1969) rekommenderar däremot att reduktionstalet mätes vid en infallsvinkel om  $45^\circ$  vilket närmast skulle motsvara fältfallet; Eisenberg anger dock inte vilket störningsmått som avses. Eisenberg (1958, 1969) och de Lange (1969) har också funnit att reduktionstalet vid en infallsvinkel om  $45^\circ$  är approximativt lika med reduktionstalet vid diffust infall.

Sambandet mellan reduktionstal och skillnaden i ljudtrycksnivå hos infallande ljud på utsidan av fönstret och efterklangsfältet i mottagarrummet har i allmänhet beskrivits med modifierade former av Buckingham's klassiska formel. Sålunda anger exempelvis Eisenberg (1969),

$$L_1 - L_2 = R - 10 \log \frac{4S \cos \gamma}{A_2} \text{ dB} \quad (1)$$

där

$L_1$  = ljudtrycksnivån hos infallande ljud

$L_2$  = ljudtrycksnivån hos efterklangsfältet i mottagarrummet

$R$  = fönstrets reduktionstal

$S$  = fönstrets area

$A_2$  = mottagarrummets absorption

$\gamma$  = vinkeln mellan infallande ljudstråle och fönsternormalen

Ett annat samband har använts i ett arbete om ljudisolering mot flygbuller (BBN, 1967):

$$L_1 - L_2 = R - 10 \log \left( 1 + \frac{4S}{A_2} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Detta samband, som härstammar från London (1952) och Beranek (1954), har rönt viss kritik. Donato (1966) har studerat motsvarande samband för ljudisoleringen mellan två rum och kommer

till slutsatsen att sambandet endast gäller om ljudet infaller mot väggen i ett parallellt strålknippe. Ett sådant förhållande kan emellertid tänkas råda åtminstone vid höga frekvenser för den momentana isoleringen mot flygbuller, förutsatt att ljudkällan kan ses genom fönstret. Vid låga frekvenser torde dock diffraktionen i fönsteröppningen ge en sådan spridning av ljudet att förhållandena bäst beskrivs av ekvation (1).

En modifierad version av ekvation (2) anges i en amerikansk standard (ASTM, 1968). Här är den geometriska ytan  $S$  ersatt av den exponerade ytan  $Scos\gamma$ . Det skall också observeras att det råder en viss skillnad mellan definitionerna av faktorn  $A_2$  i de båda ekvationerna (1) och (2). Denna är dock av mindre betydelse här.

Vid mätning av skillnaden i ljudtrycksnivå ute - inne, kan inte den del av ljudfältet utomhus med riktning mot fönstret separeras från det totala fältet. Det är därför av betydelse att ha ett samband mellan dessa båda kvantiteter. Vissa specialfall av detta problem tillhör den klassiska akustiken, se exempelvis Beranek (1954), men tillämpningarna för trafikbuller är inte helt klara.

I denna rapport skall de fyra problemställningarna

- 1 Reduktionstal i fält respektive laboratorium
- 2 Samband reduktionstal-skillnad i ljudtrycksnivå ute - inne
- 3 Reflektionsmönstret vid en fasad
- 4 Isoleringsindex för fasader

behandlas närmare.

Eftersom samtliga dessa frågor är beroende av vilken enhet som väljes för beskrivning av bullerstörningarna inleds rapporten med en diskussion av hur fönsters subjektiva isolering lämpligen bör definieras.

2 DEFINITION AV "SUBJEKTIV" ISOLERING  
MOT TRAFIKBULLER

Som mått på störnivå användes för trafikbuller mycket ofta den sk effektivnivån,  $L_{eff}$ , definierad enligt

$$L_{eff} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \quad \text{dB(A)} \quad (3)$$

där

- $L(t)$  = momentan A-vägd ljudtrycksnivå i dB
- $T$  = betraktat tidsintervall
- $t$  = tiden

Detta mått har en rad egenskaper, som gör det mycket väl ägnat för praktiskt arbete i trafikbullersammanhang, för en översikt, se Ljunggren (1971). Det har bl a visat sig ge god korrelation till upplevd störning.

Effektivnivån erbjuder vissa fördelar ur projekteringssynpunkt, och används bl a därför som störningsmått i ett flertal projekteringsmetoder för trafikbuller, se exempelvis Ingemansson & Ljunggren (1970), Statens Planverk (1971) samt DIN 18005 (1971). Effektivnivån används också i en metod för tågbuller (Ljunggren & Benjegård, 1972) samt för flygbuller (Wyle Laboratories, 1971).

Effektivnivån anges också som störningsmått för samhällsbuller i ISO R 1996 (1971) och för trafikbuller i Planverkets riktlinjer (1971).

Vi anser det därför vara riktigt att definiera den subjektiva isoleringen som skillnaden mellan effektivnivån i lämpligt definierade punkter utomhus och inomhus.

Inomhus brukar i detta sammanhang definieras som en punkt mitt i det aktuella rummet på en höjd av 1,5 meter över golvet. Vi kan inte se någon anledning till ändring härvidlag. Det skall dock påpekas, att ljudnivån nära fönstret blir högre än mitt i rummet. Någon systematisk undersökning av detta fenomen har inte utförts inom ramen för detta arbete; resultatet av en punktmätning framgår dock ur FIG. 1. Här mättes ekvivalenta tersbandsnivåer (definierat i analogi med ekvation (3)) i en punkt 1 m från fönstret och samtidigt mitt i rummet. Som synes erhöles några decibel högre nivå intill fönstret än mitt i rummet. Det är dock troligt, att närfältet kring fönstret försvinner tämligen raskt vid ökande avstånd se exempelvis London (1952) och Donato (1966), och därigenom är av mindre betydelse ur störningssynpunkt.

Vid definitionen av utomhusnivån skall flera önskemål uppfyllas samtidigt. För det första skall nivån vara väldefinierad, för det andra ge en angivelse av ljudnivån utanför fasaden och för det tredje kunna användas för att beskriva storleken av den ljudenergi som faller in mot fönstret, dvs intensitetsnivån.

Dessa önskemål kan tillnärmelsevis uppfyllas om utomhusnivån definieras som ljudnivån i fasadens plan minskat med 3 dB (fasaden tänkes helt plan). Därigenom erhålles ett värde, som är approximativt lika med ljudnivån ett stycke utanför fönstret där väggens interfererande verkan kan försummas, se appendix A. Vidare kan detta värde i vissa fall användas för beräkning av intensitetsnivån framför fönstret.

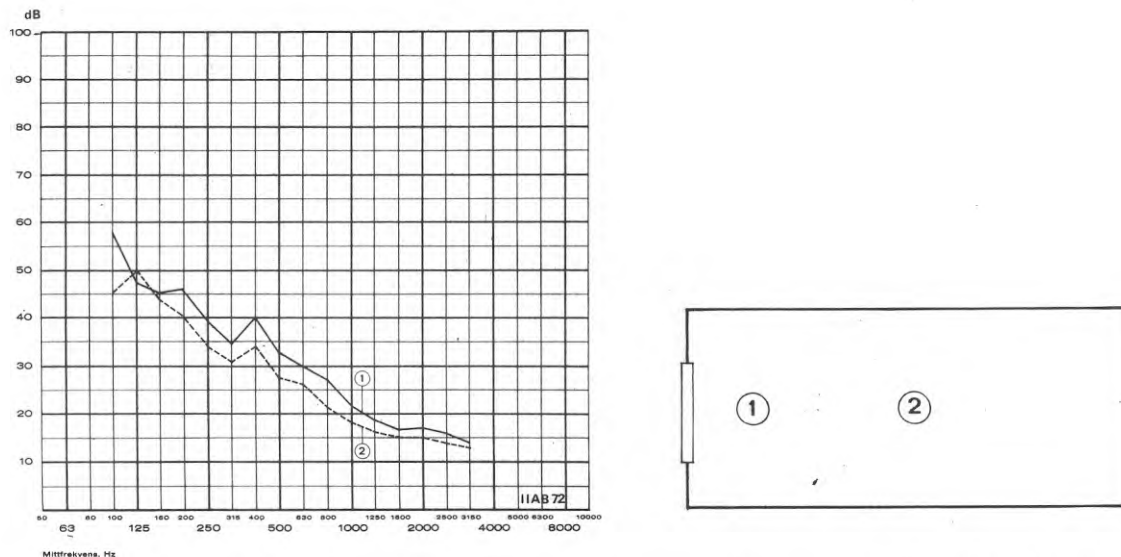


FIG. 1 Ekvivalenta ljudtrycksnivåer uppmätta samtidigt i två punkter i ett rum.

TAB. 1. Använda värden på faktorn r.

r Hz	Mulholland, Parbrook & Cummings (1967)	Föreliggande arbete
100	1.00	1.00
125	0.90	0.90
160	0.70	0.70
200	0.70	0.70
250	0.65	0.65
315	0.65	0.65
400	0.65	0.65
500	0.70	0.70
630	0.70	0.70
800	0.75	0.75
1000	0.85	0.75
1250	0.85	0.80
1600	0.99	0.85
2000	0.99	0.90
2500	0.99	0.95
3150	0.95	0.99



### 3 LJUDISOLERING I LABORATORIUM OCH I FÄLT (NORMALFALLET)

Med en konstruktions reduktionstal,  $R$ , menas

$$R = 10 \log \frac{P_i}{P_t} \text{ dB} \quad (4)$$

där  $P_i$  betecknar den effekt som faller in mot konstruktionen på sändarsidan och  $P_t$  den transmitterade effekten.

Eftersom reduktionstalet hos en konstruktion är beroende av det infallande ljudets riktning (och därigenom också riktningsfördelning) är det inte givet, att samma reduktionstal erhålles under laboratorieförhållanden (där det infallande ljudet kan betraktas som diffust), respektive under fältförhållanden (där ljudet kommer från en rörlig ljudkälla).

För att närmare undersöka eventuella skillnader har beräkningar utförts på några typfall med en teoretisk modell för tvåglasfönster. Valet av teoretisk modell har stött på vissa svårigheter. För att någon test av infallsvinkelns betydelse skall vara möjlig, bör modellen lämpligen vara av den vågteoretiska typen. Det finns ett flertal sådana modeller, bland de mer kända kan nämnas London (1950), Lukasik & Nolle (1955), White (1955), Mulholland, Parbrook & Cummings (1967) samt Cummings & Mulholland (1968). För att dessa modeller, som sinsemellan är mycket lika, skall ge ett tillräckligt högt reduktionstal för att överensstämmelse skall erhållas med mätvärden, måste någon form av resistiv term införas i uttrycket för reduktionstalet, se London (1950), Mulholland et al (1967) samt Cummings & Mulholland (1968). Den fysikaliska tolkningen av en sådan term är ännu inte helt klarlagd.

Mot bakgrunden av denna osäkerhet har vi valt den modell som föreslagits av Mulholland, Parbrook & Cummings (1967). Denna modell är mycket enkel och därigenom lämplig för beräkningsändamål, och har visats kunna ge mycket god anpassning till mätvärden.

För transmissionskoefficienten  $\tau$ , där

$$\tau = \frac{P_t}{P_i} \quad (5)$$

skriver vi sålunda

$$\tau = \left| \Omega^2 / \{1 - r^2(1 - \Omega)^2 \exp(-2jkdc\cos\gamma)\} \right|^2 \quad (6)$$

där

$$\Omega = j\omega M \cos\gamma / 2\rho c \quad (7)$$

$M$  = ytvikten hos ena delväggen (väggen förutsättes vara symmetrisk)

$r$  = resistiv faktor

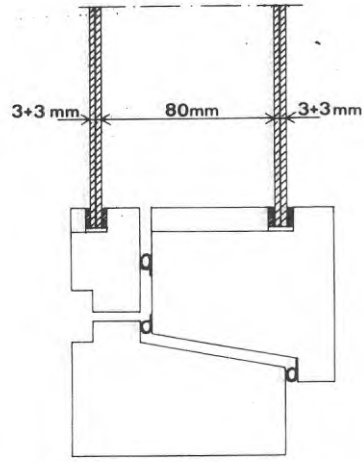
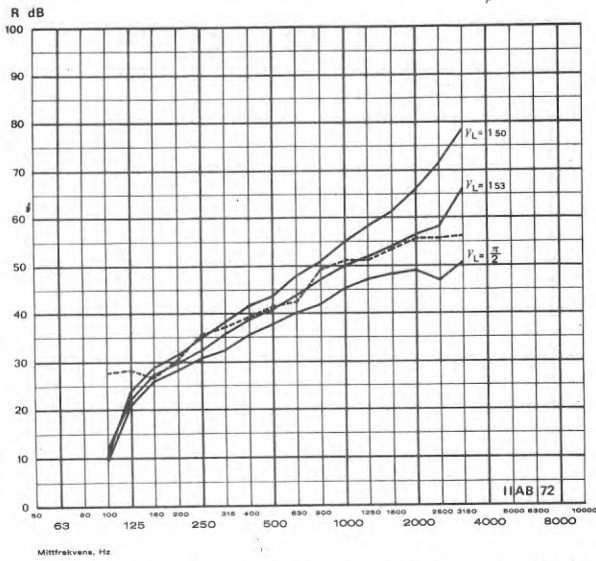


FIG. 2 Beräknat reduktionstal (—) för olika värden på övre gränsen för infallsvinkeln  $\gamma_L$  samt uppmätt reduktionstal (---).

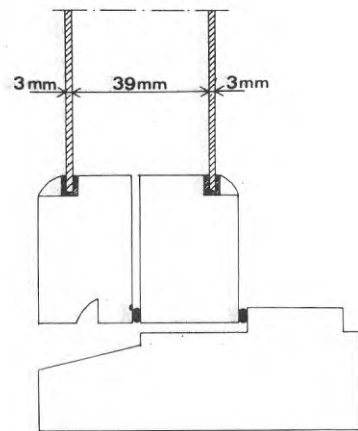
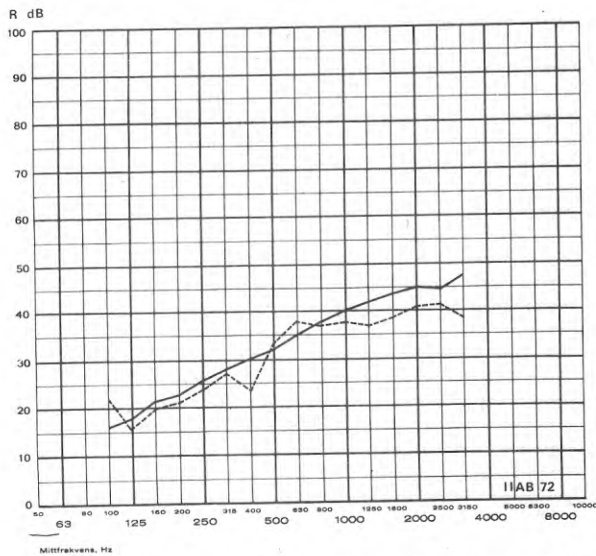


FIG. 3 Beräknat (—) och uppmätt (---) reduktionstal. Laboratorieförhållanden.

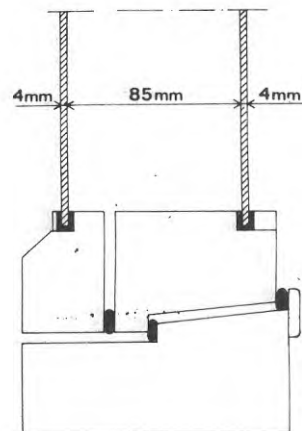
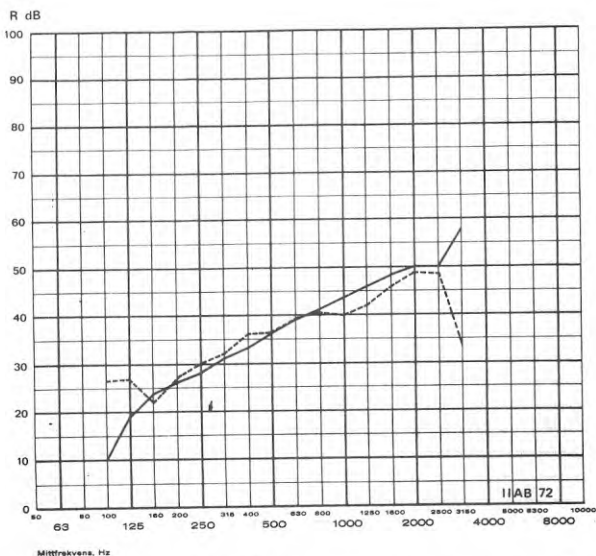


FIG. 4 Beräknat (—) och uppmätt (---) reduktionstal. Laboratorieförhållanden.

$d$  = luftspaltens storlek  
 $\omega = 2\pi f$ , där  
 $f$  = frekvensen  
 $\gamma$  = vinkeln mellan infallande ljudstråle och fönstrets normal

Vid laboratorieförhållanden kan reduktionstalet skrivas

$$R = -10 \log \frac{\int_0^{\gamma_L} \tau(\gamma) \cos \gamma \sin \gamma d\gamma}{\int_0^{\gamma_L} \cos \gamma \sin \gamma d\gamma} \text{ dB} \quad (8)$$

där

$\gamma_L$  = övre gräns för integrationsvinkeln

För faktorn  $r$  har använts praktiskt taget samma värden som redovisats av Mulholland et al för liknande konstruktioner, se TAB. 1. Den övre integrationsgränsen,  $\gamma_L$ , har bestämts till 1.53 rad ( $\approx 88^\circ$ ) genom jämförelser med laboriemätta reduktionstal, se FIG. 2.

Modellen har slutligen testats genom jämförelser av beräknade och uppmätta reduktionstal för några konstruktioner, se FIG. 3-4. Som synes är överensstämmelsen i stort sett god mellan beräknade och uppmätta värden på reduktionstalet. De avvikelser som uppträder vid de högsta frekvensbanden beror på koincidenseffekten, vartill någon hänsyn ej tagits i beräkningsmodellen. Det är att märka, att samtliga undersökta konstruktioner hade dubbel båge, varigenom energiöverföringen via bågen torde vara liten.

För fältfallet kan man visa, att reduktionstalet i fält,  $R^*$ , definierad med avseende på energimängden under en passage, för det fall som är skisserat i FIG. 5 får formen

$$R = -10 \log \frac{\int_0^{\gamma_L} \tau(\gamma) \cos \gamma d\theta}{\int_0^{\gamma_L} \cos \gamma d\theta} \text{ dB} \quad (9)$$

Här är

$$\cos \gamma = \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + \cos^2 \alpha \tan^2 \theta}} \quad (10)$$

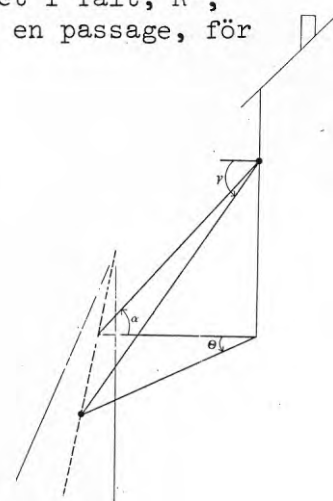


FIG. 5 Definition av vinklarna  $\alpha$ ,  $\theta$  och  $\gamma$ .

De beräknade reduktionstalen för laboratorie respektive fältfallet  $R$  respektive  $R^*$ , framgår ur FIG. 6-8. Vid låga frekvenser ligger  $R^*$  något lägre än  $R$  men i övrigt är överensstämmelsen god så länge vinkeln  $\alpha$  är liten. Vid större  $\alpha$  sjunker reduktionstalet. Det beror till största delen på att nämnaren i ekvation (7) minskar med ökande  $\alpha$ . Detta kompenseras dock av att projektionen av fönstrets yta på vågfronten minskar vid ökande  $\alpha$ .

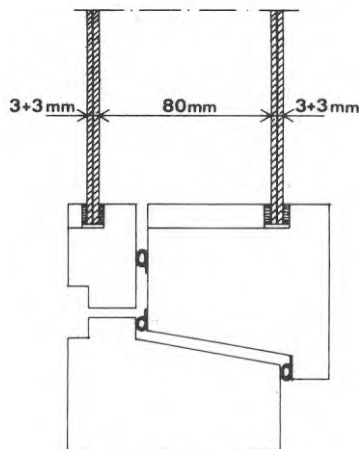
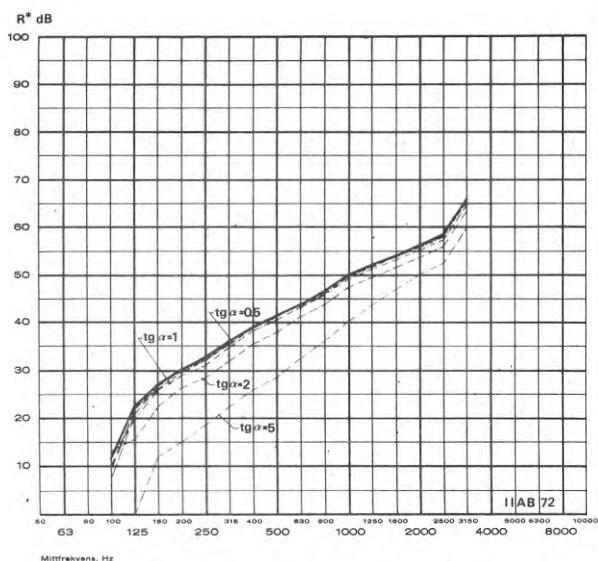


FIG. 6 Beräknat reduktionstal i laboratorium (—) och i fält (---).

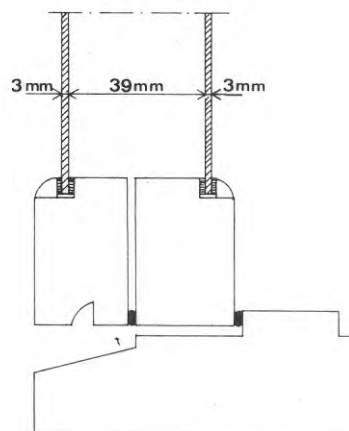
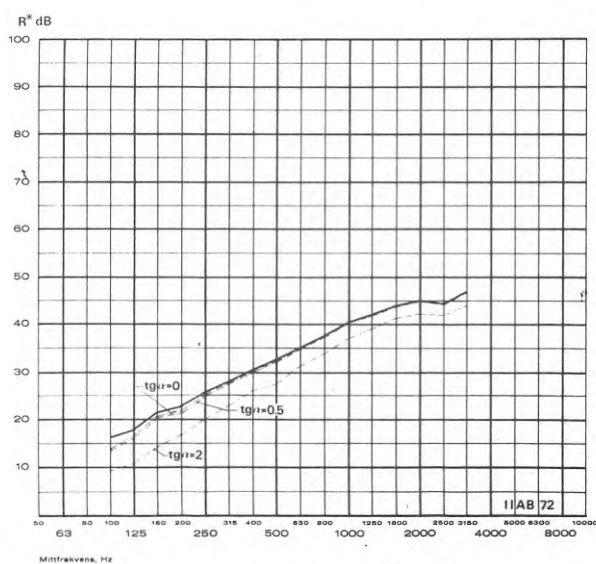


FIG. 7 Beräknat reduktionstal i laboratorium (—) och i fält (---).

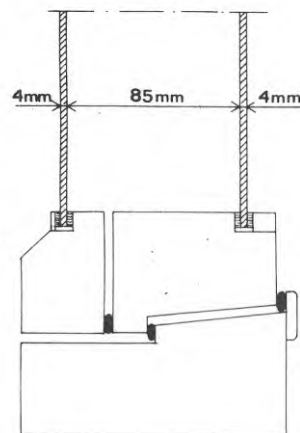
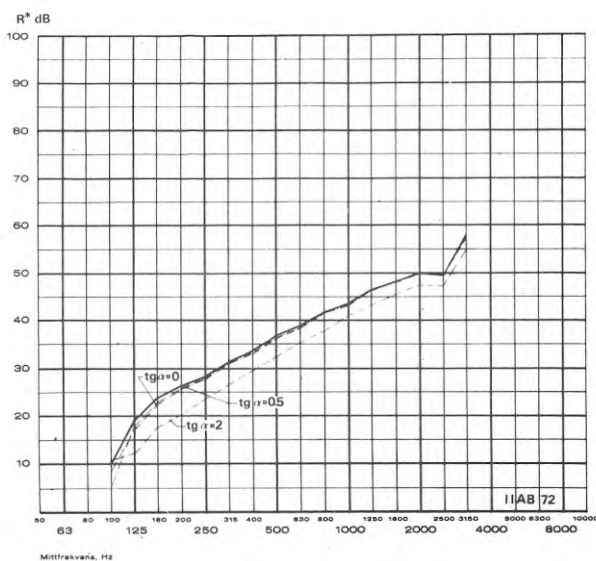


FIG. 8 Beräknat reduktionstal i laboratorium (—) och i fält (---).

För energibalansen i rummet gäller nämligen

$$I_S \bar{S}_T = I_M A_M \quad (11)$$

där

$$\bar{S}_T = \frac{\int_0^{\gamma_L} \tau(\gamma) \cos \gamma d\theta}{\int_0^{\gamma_L} \cos \gamma d\theta} \quad (12)$$

Förutsättes på vanligt sätt diffust ljudfält i rummet kan sambandet mellan intensitet och genomsnittligt ljudtryck,  $P_M$ , skrivas

$$I_M = \frac{P_M^2}{4\rho c} \quad (13)$$

Samband mellan intensitet och ljudtryck på utsidan fönstret kan skrivas

$$I_S = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{P_S^2}{\rho c} \cos \gamma d\theta = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{P_S^2}{\rho c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \gamma d\theta \quad (14)$$

Med hjälp av ekvationerna (11)-(14) erhålles efter logaritmering och införande av referensstorheter på vanligt sätt

$$L_S - L_M = R^* + 10 \log \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{A_M}{S} \cdot \frac{1}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \gamma d\theta} \right) - 6 \text{ dB} \quad (15)$$

där  $L_S$  är ljudtrycksnivån hos infallande ljud och  $L_M$  ljudtrycksnivån i rummets efterklangsfält.

Ur integraltabell erhålles direkt att

$$\int_0^{\gamma_L} \cos \gamma d\theta = \frac{1}{\operatorname{tga}} \operatorname{Arcsin}(\sin \alpha \sin \gamma_L) \quad (16)$$

varför

$$\int_0^{\gamma_L} \cos \gamma d\theta \approx \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \gamma d\theta \doteq \frac{\alpha}{\operatorname{tga}} \quad (17)$$

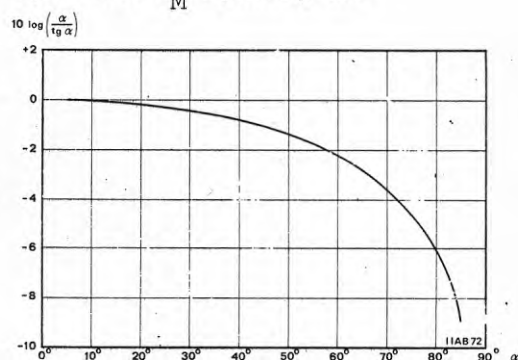


FIG. 9  $10 \log \frac{\alpha}{\operatorname{tga}}$  som funktion av  $\alpha$ .

Funktionen  $10 \log \frac{\alpha}{\operatorname{tga}}$  återfinns uppritad i FIG. 9. Jämföres resultatet i FIG. 9 med kurvorna i FIG. 6-8 framgår att allra

TAB. 2.  $R^* - 10 \log \frac{\alpha}{t\alpha}$  dB för en fönsterkonstruktion bestående av dubbla 3 mm rutor och en spalt om 80 mm. Beräknade värden.

f	tga=0	tga=0.25	tga=0.5	tga=1	tga=2	tga=5
100	10.0	9.5	7.8	12.5	15.7	2.4
125	22.7	22.6	22.2	20.9	18.2	3.1
160	27.4	27.4	27.3	26.9	24.9	17.0
200	30.0	30.0	29.9	29.6	28.0	20.0
250	32.9	32.9	32.8	32.6	31.4	23.8
315	35.7	35.7	35.7	35.5	34.5	27.3
400	38.8	38.7	38.7	38.6	37.8	31.0
500	41.1	41.1	41.1	41.0	40.3	33.7
630	44.2	44.2	44.2	44.1	43.6	37.5
800	46.8	46.8	46.8	46.7	46.4	40.9
1000	50.2	50.2	50.2	50.1	49.8	45.1
1250	52.4	52.4	52.4	52.3	52.1	48.6
1600	54.4	54.4	54.4	54.4	54.2	52.0
2000	56.4	56.4	56.4	56.3	56.2	55.0
2500	58.6	58.6	58.5	58.5	58.4	57.4
3150	65.9	66.1	66.0	65.6	66.0	64.8

TAB. 3. Jämförelse mellan reduktionstal uttryckta i  $R_m$ ,  $I_a$  och  $I_{CN}$  uppmätta i laboratorium respektive i fält.  $I_{CN}$  definieras i rapportens avsnitt 5.

Fig Nr	$R_m$ i dB			$I_a$ i dB			$I_{CN}$		
	Lab	fält	dift	Lab	fält	dift	Lab	fält	dift
14	19	20	-1	18	22	-4	24	25	-1
15	29	28	+1	32	31	+1	36	33	+3
16	36	31	+5	41	38	+3	43	40	+3
17	36	32	+4	40	35	+5	42	37	+5
18	35	34	+1	37	38	-1	40	41	-1
19	28	28	0	29	30	-1	33	34	-1
20	32	34	-2	35	37	-2	39	40	-1
21	31	31	0	34	34	0	38	37	+1
22	35	32	+3	38	36	+2	41	37	+4
23	36	39	-3	40	43	-3	43	46	-3
MV			+0,8			0,0			+0,9

största delen av minskningen i reduktionstalet  $R^*$  kompenseras. För åskådligghetens skull har också uttrycket  $R^* - 10 \log \frac{\alpha}{t g \alpha}$  beräknats för olika  $\alpha$  hos en konstruktion, se TAB. 2. Med undantag från de båda lägsta frekvensbanden där väggens grundresonans ligger och det allra största värdet på  $\alpha$  är avvikelserna från  $R$  mycket små. Vid mycket sneda infall sjunker dock  $R^* - 10 \log \frac{\alpha}{t g \alpha}$  och därigenom också den effektiva isoleringen signifikant. Så sneda infall är dock i allmänhet av mindre betydelse i praktiken.

Isoleringens beroende av vinkeln  $\alpha$  har också undersökts genom fältmätningar. Den effektiva isoleringen  $R^*$  har därvid uppmätts för 4 olika konstruktioner, monterade dels i bottenplanet och dels på 12-13 våningen, motsvarande  $\alpha \sim 0^\circ$  respektive  $\alpha \sim 45^\circ$ . Som synes ur FIG. 10-13 är den subjektiva isoleringen här 1-2 dB högre högt upp i huset än i bottenplanet. I detta fall är som synes de uppmätta reduktionstalen genomgående mycket längre än vad som erhållits i laboratorium för liknande konstruktioner. Detta beror troligen på läckage via själva fasaden, som var av utfackningstyp och dessa mätningar får därför inte tillmätas alltför stor betydelse.

Med undantag från mycket sneda infall och eventuellt de lägsta frekvensbanden bör alltså nivåskillnaden kunna skrivas

$$L_S - L_M \sim R + 10 \log \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{A_M}{S} \right) - 6 \quad \text{dB} \quad (18)$$

Detta samband skiljer sig från vad som annars brukar anges, se exempelvis ISO R 140, dels genom en faktor  $\frac{\pi}{2}$  dvs approximativt 2 dB, vilket beror på skillnaden mellan intensitet och ljudtryck i planet  $\alpha = 0$ , och dels genom konstanten om 6 dB. Dessa 6 dB beror, som är välkänt sedan lång tid tillbaka, på skillnaden i ljudfältens typ inom- respektive utomhus.

Ekvation (18) har testats genom en serie mätningar där varje konstruktion mätts både i laboratorium och i fält, se FIG. 14-23 och TAB. 3.

Därvid mättes första reduktionstalet hos varje fönster i laboratoriet. Fönstren monterades därefter i en fasad med mycket högt reduktionstal i markplanet, och reduktionstalet hos fönstret mättes därefter med en trafikström parallell med fönstret som ljudkälla. Ljudnivåerna utomhus korrigerades enligt TAB. A1.

Med undantag från de lägsta frekvensbanden får överensstämmelsen betraktas som övertygande. Anledningen till avvikelserna vid låga frekvenser torde bl a vara att fönstrens grundresonans, som uppträder inom detta frekvensområde är mycket känslig för det infallande ljudets riktningsfördelning. Detta bekräftas också av skiljaktigheterna vid olika värden på  $\alpha$  i de beräknade reduktionstalen FIG. 6-8 och TAB. 2.

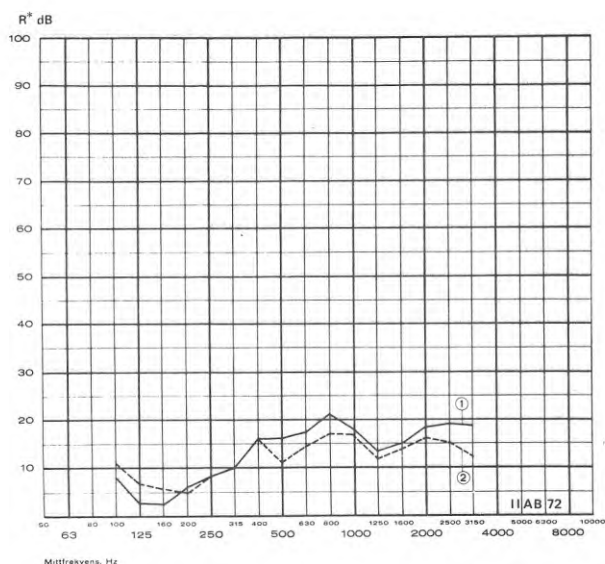


FIG. 10 Uppmätt reduktionstal i två olika punkter i en byggnad med samma fönsterkonstruktion.

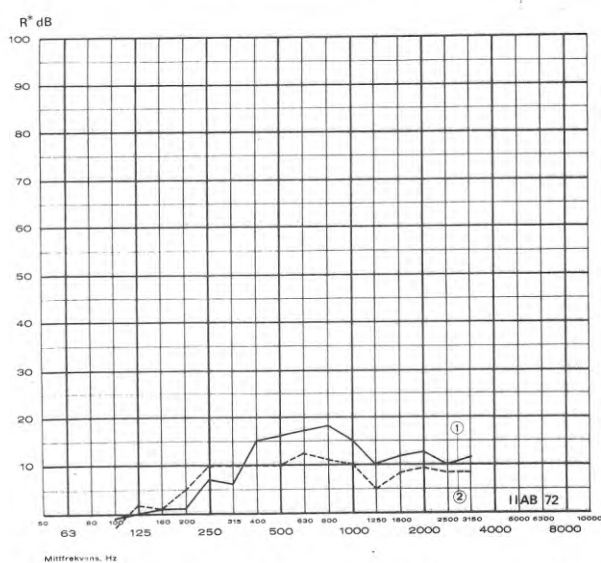


FIG. 11 Uppmätt reduktionstal i två olika punkter i en byggnad med samma fönsterkonstruktion.

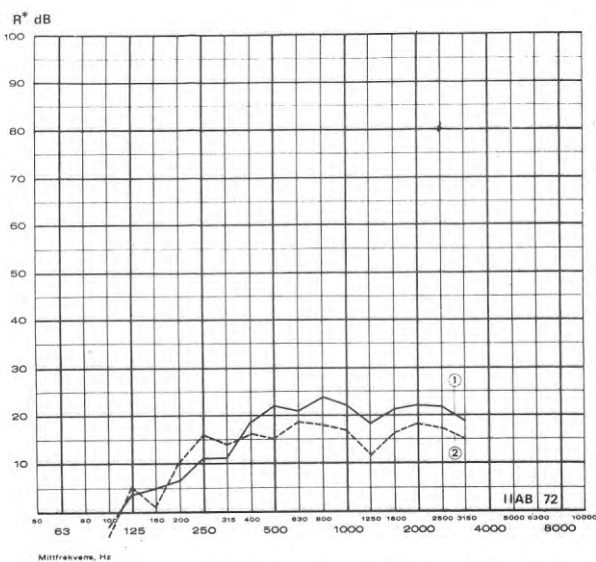


FIG. 12 Uppmätt reduktionstal i två olika punkter i en byggnad med samma fönsterkonstruktion.



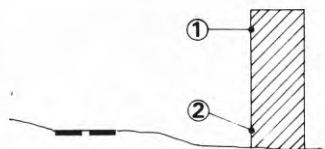
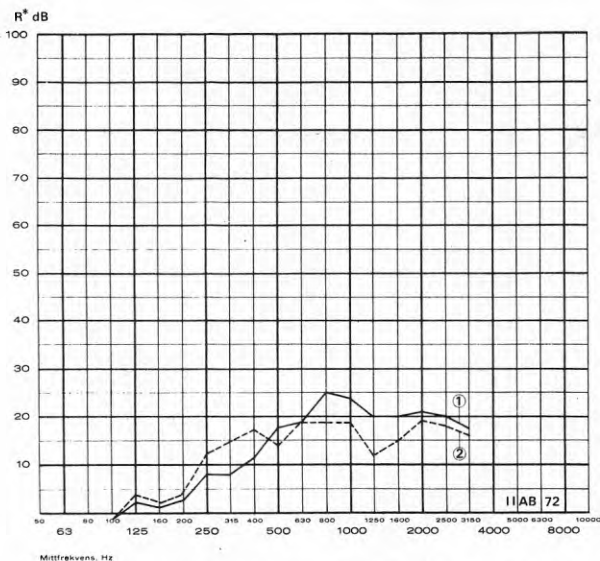


FIG. 13 Uppmätt reduktionstal i två olika punkter i en byggnad med samma fönsterkonstruktion.

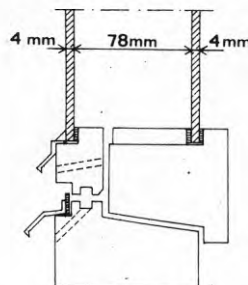
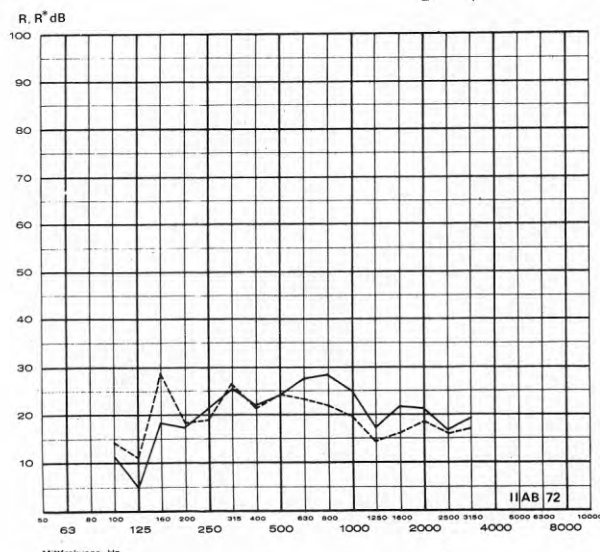


FIG. 14 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

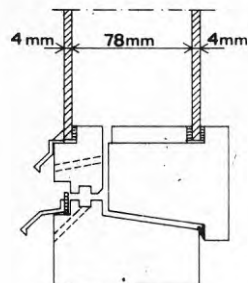
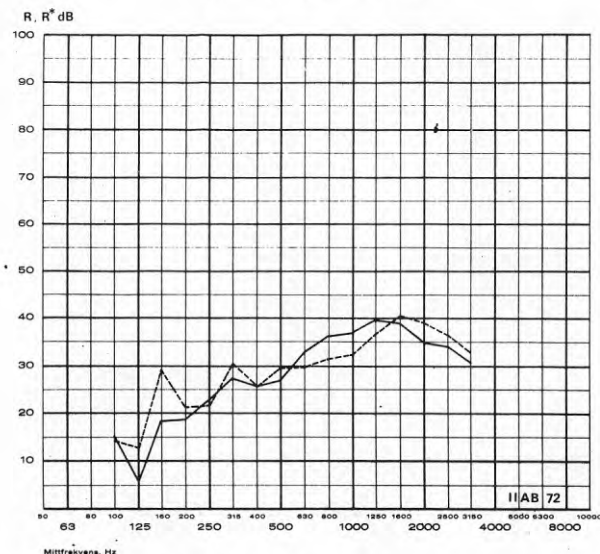


FIG. 15 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

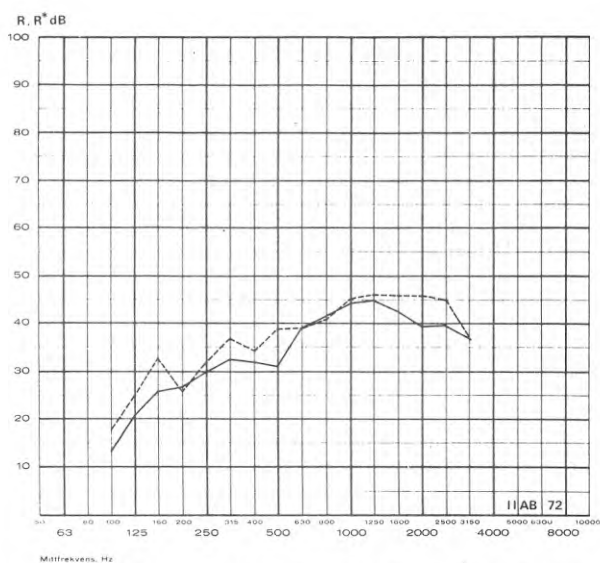


FIG. 16 Reduktionstal, mätt i laboratorium ( $---$ ) och i fält ( $---$ ) ( $\alpha = 0$ ).

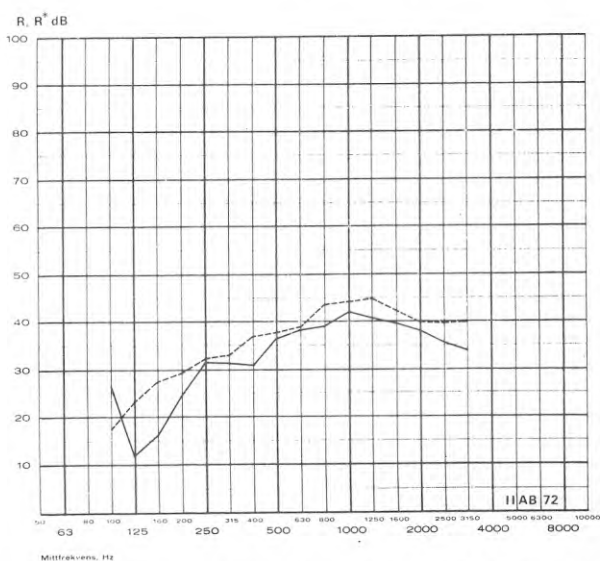
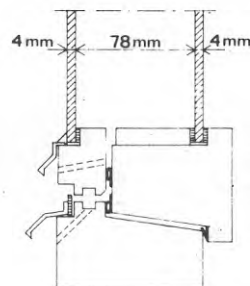


FIG. 17 Reduktionstal, mätt i laboratorium ( $---$ ) och i fält ( $---$ ) ( $\alpha = 0$ ).

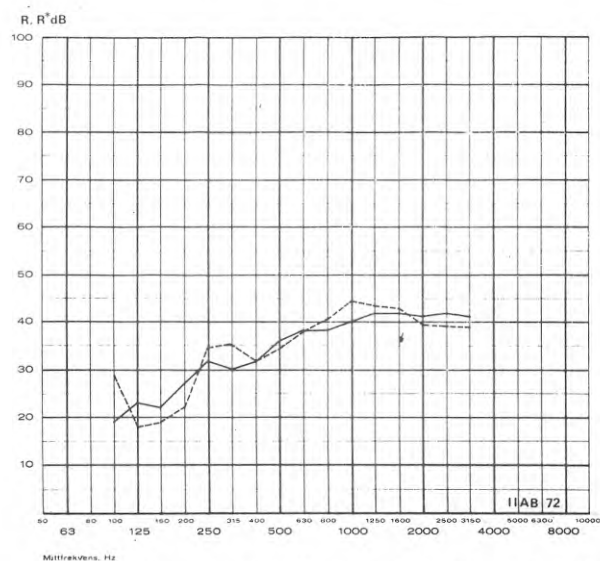
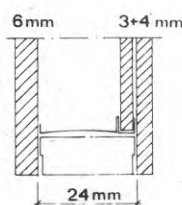
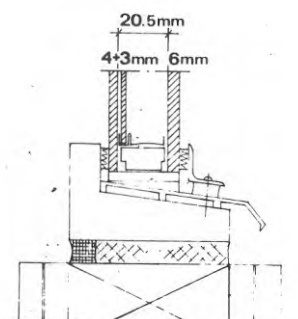


FIG. 18 Reduktionstal, mätt i laboratorium ( $---$ ) och i fält ( $---$ ) ( $\alpha = 0$ ).



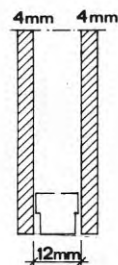
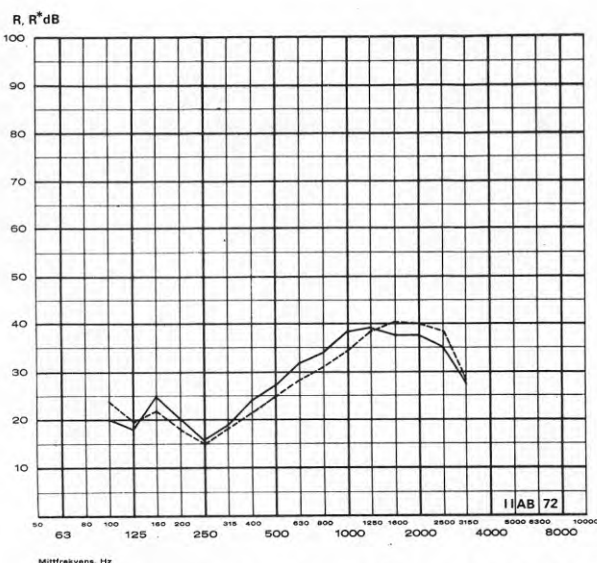


FIG. 19 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

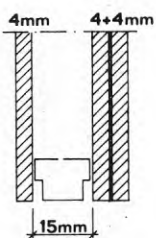
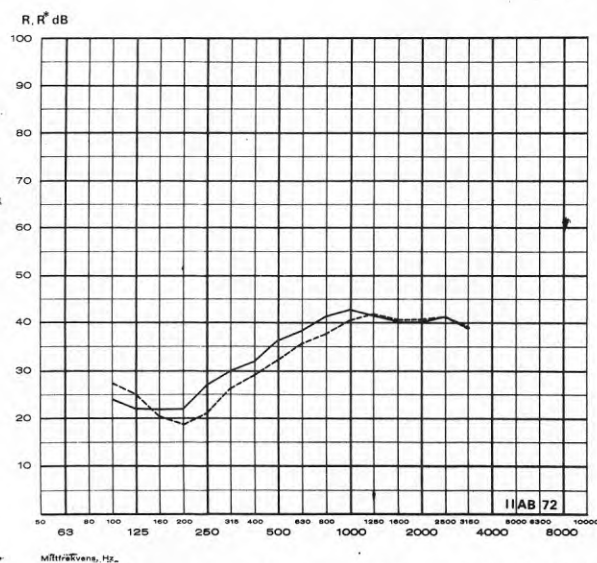


FIG. 20 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

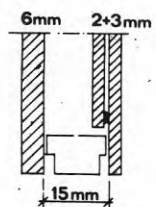
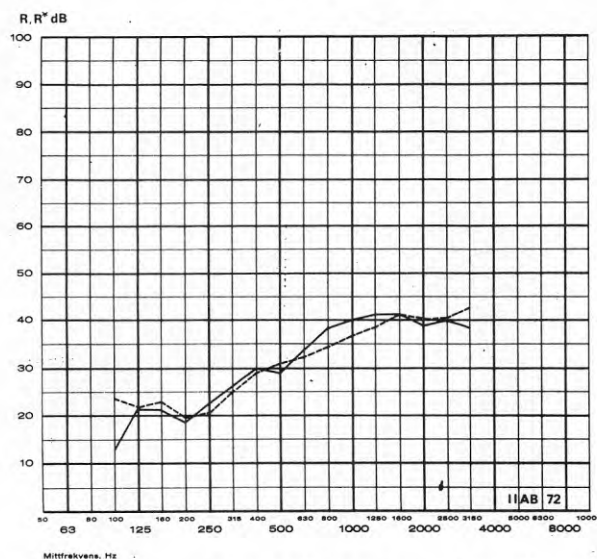


FIG. 21 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

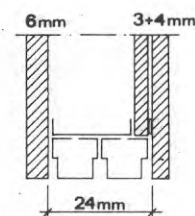
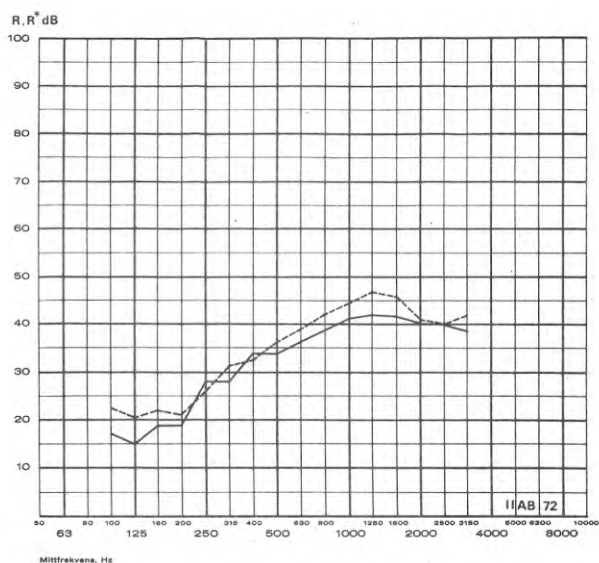


FIG. 22 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

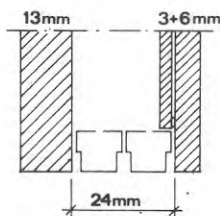
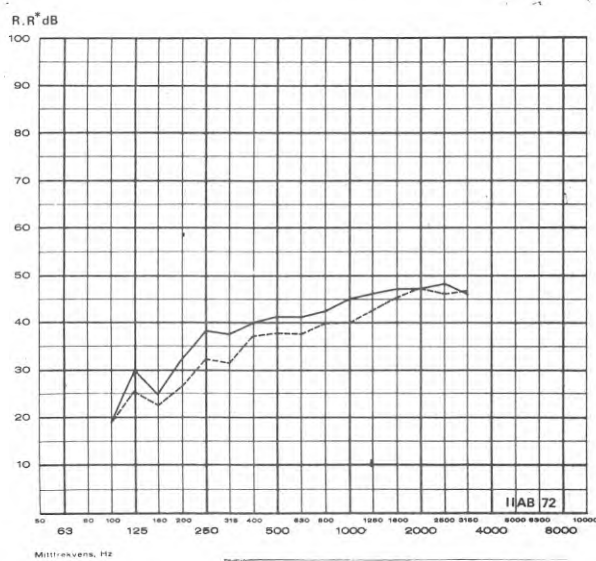


FIG. 23 Reduktionstal, mätt i laboratorium (---) och i fält (—) ( $\alpha = 0$ ).

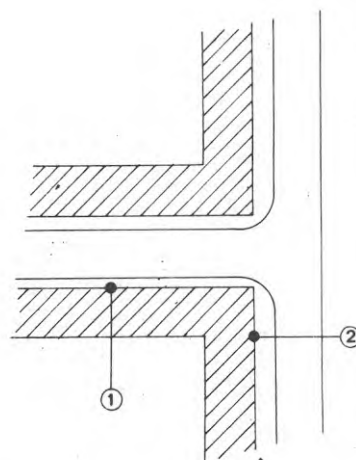
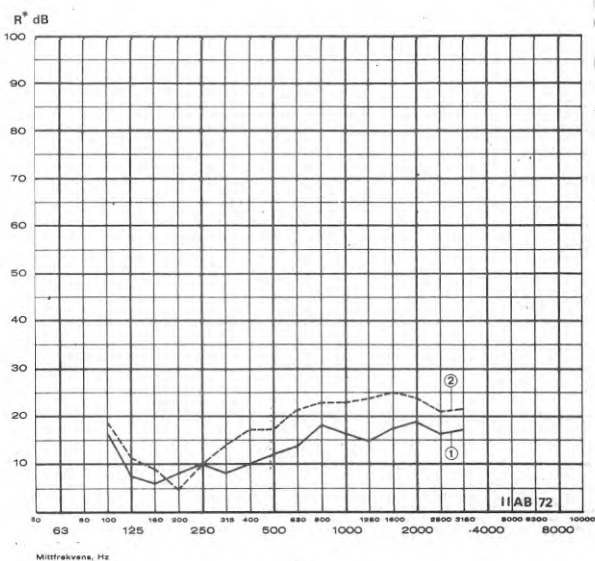


FIG. 25 Uppmätt reduktionstal i två olika punkter med samma fönsterkonstruktion.

Det enkla samband som i det föregående härleddes mellan nivå-skillnaden ute - inne och ett fönsters laborieremätta reduktionstal, kan förväntas gälla enbart då det infallande ljudet är approximativt diffust i ett plan vinkelrätt mot fönstret och parallellt med marken.

Detta villkor är inte uppfyllt om exempelvis markdämpning uppträder vid utbredningen mellan fordon och fönster, därför att markdämpningen ökar med avståndet och därigenom också med vinkeln  $\theta$ . För att bedöma storleksordningen av de avvikelser som kan uppträda, har några beräkningar utförts med hjälp av den matematiska fönstermodellen. Med hjälp av en tidigare redovisad modell för markdämpningen (Ingemansson & Ljunggren, 1970, Ljunggren 1972) kan reduktionstalet  $R^*$  för fallet  $\alpha = 0$  skrivas

$$R^* = -10 \log \frac{\int_0^{\pi/2} \tau(\gamma) \cos \theta \cdot 10^{-\frac{\beta a}{10 \cos \theta}} d\theta}{\int_0^{\pi/2} \cos \theta \cdot 10^{-\frac{\beta a}{10 \cos \theta}} d\theta} \quad \text{dB} \quad (19)$$

Eftersom den effektivt exponerade fönsterarean minskas vid ökande  $\theta$  måste också korrektion göras härför vid bedömning av isoleringen. Denna korrektion är i analogi med det tidigare

$$-10 \log \int_0^{\pi/2} \cos \theta \cdot 10^{-\frac{\beta a}{10 \cos \theta}} d\theta + 10 \log \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} 10^{-\frac{\beta a}{10 \cos \theta}} d\theta \quad \text{dB} \quad (20)$$

Resultatet framgår ur FIG. 24. Som synes ökar den effektiva isoleringen framför allt vid högre frekvenser ganska kraftigt med ökande markdämpning.

Motsatt förhållande råder om de sneda infallsvinklarna är mer representerade än normalt. I FIG. 25 redovisas resultaten från två mätningar, den ena på ett fönster i en fasad längs en livligt trafikerad gata och den andra på ett fönster av samma konstruktion och utförande, i en fasad på en tvärgata ett stycke in från den bullrande gatan. Skillnaden i subjektiv isolering uppgår till 3 dB. Å andra sidan skall märkas att ljudnivån framför fasad var  $c:a$  10 dB lägre inne på tvärgatan än vid den bullrande gatan.

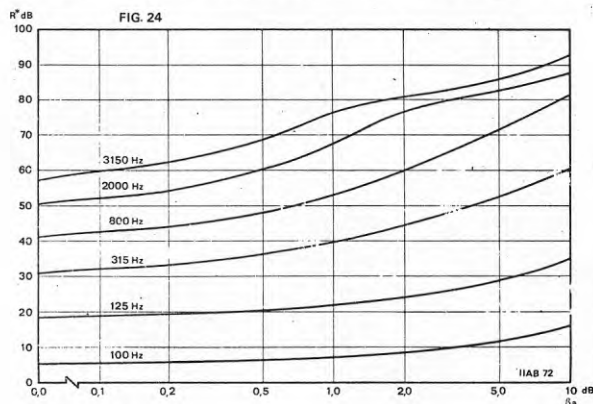


FIG. 24 Beräknat reduktionstal för fönstret i FIG. 8 vid några olika frekvenser som funktion av produkten  $\beta a$  där  $a$  = avståndet till vägen och  $\beta$  är dämpningen i dB/m vid punkt-till-punktutbredning.

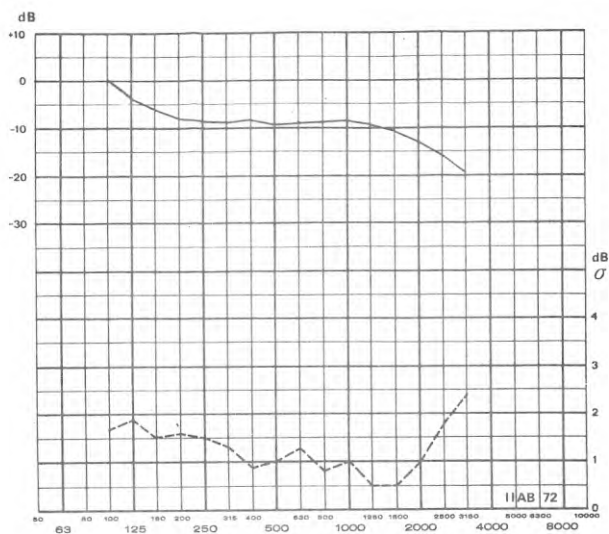


FIG. 26 Genomsnittligt spektrum (—) och standardavvikelse för detta, referat till effektivnivån. Gatutrafikbuller, 26 mätpunkter.

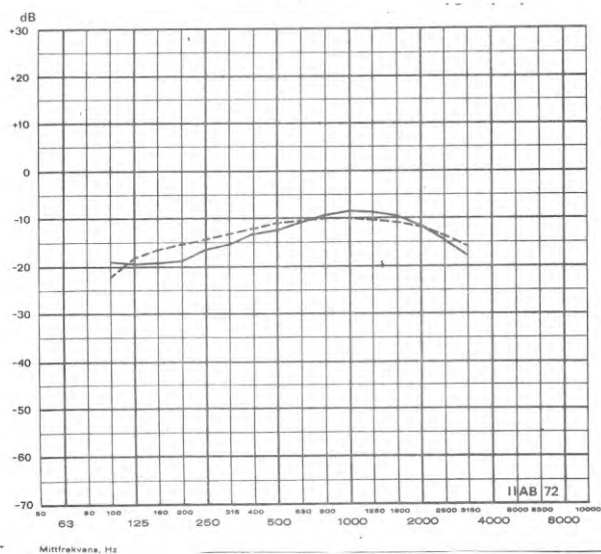


FIG. 27 Värderingskurvor för gatutrafik (—) och vägtrafikbuller (---).

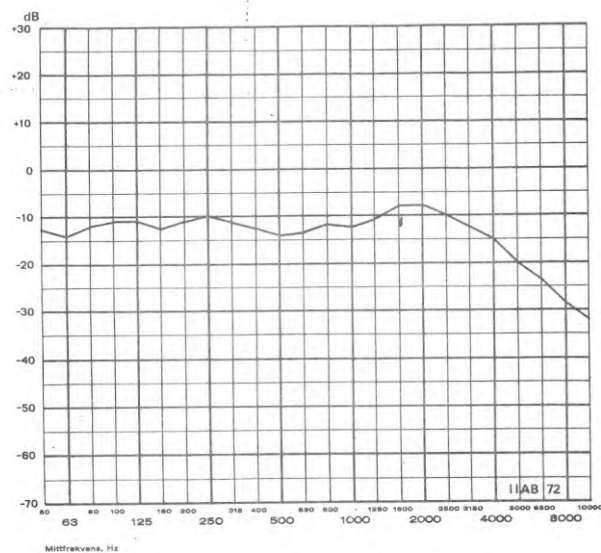


FIG. 28 Genomsnittligt spektrum för tågbuller referat till effektivnivån. 35 passager, avstånd 40 m.

5 KONSTRUKTION AV ISOLERINGSINDEX MOT  
SAMHÄLLSBULLER,  $I_{CN}$

För klassificering av byggnaders rumsskiljande konstruktioner används allmänt speciella viktningsförfaranden, som med utgångspunkt från konstruktionens laboriemätta reduktionstal ger entalsvärden s k isoleringsindex, som är betecknande för den upplevda isoleringen (ISO R 717, 1968). Dessa förfaranden har speciellt beträffande luftljudsisoleringen givit mycket goda erfarenheter i praktiken (se exempelvis Cremer, 1960 och Gösele, 1965) och det är därför lämpligt att använda ett liknande även för fasaders ljudisolering.

Som utgångspunkt för indexbestämningen måste det laboriemätta reduktionstalet användas. Detta är inte helt idealiskt, eftersom vissa avvikelser kan uppträda mellan reduktionstal mätt i laboratorium respektive i fält. Dessa avvikelser uppträder som tidigare visats vid låga frekvenser, och är därigenom av betydelse för isoleringen mot lågfrekvent buller, t ex trafikbuller. Med tanke på problemets komplexitet måste dock avvikelserna betraktas som godtagbara. Det torde i själva verket vara svårt att konstruera en ny metod, som med bibehållande av rimlig arbetsinsats ger bättre noggrannhet.

En annan svaghet i den nuvarande laboriemetoden ligger i begränsningen i frekvenshänseende, eftersom resultaten vid 100 Hz och därunder är synnerligen osäkra. Därigenom är det inte praktiskt möjligt att utsträcka frekvensområdet nedåt under 100 Hz vid indexberäkningen. För att undersöka om denna begränsning är väsentlig för den subjektiva isoleringen mot gatutrafikbuller, har ljudtrycksnivån i 7 st stickprovsmässigt valda rum registrerats ända ned till 50 Hz. Nivåerna under 100 Hz var genomgående tämligen låga. Bidraget från banden med mittfrekvenserna 50, 63 och 80 Hz till den A-vägda ljudnivån var i blott ett enda fall större än 0,1 dB. Undantagsfallet var ett långsmalt rum med golvytan ca 2,5 x 5,0 meter, där en resonans i 63 Hz-bandet gav ett bidrag till ljudnivån om 1,3 dB. Med tanke på övriga osäkerheter och de svårigheter som vidlåter reduktionstalmätningar vid låga frekvenser är det därför rimligt att försumma frekvenser under 100 Hz åtminstone i trafikbullersammanhang. Vid vissa andra bullerkällor, exempelvis tåg och flyg, är de låga frekvenserna av ännu mindre betydelse.

Med nuvarande förfarande vid laboriemätningar, mätes ej reduktionstal vid frekvenser högre än 3150 Hz. För väg- och gatutrafikbuller torde detta också vara tillräckligt, men däremot i allmänhet inte för flyg och vissa former av byggbuller. Det finns därför skäl att höja den övre frekvensgränsen till åtminstone 5000 Hz. Samma utökning har f ö också föreslagits för rumsskiljande konstruktioner (ISO TC 43/SC 2/WG 2 No 19).

Formen på viktningskurvan skall bestämmas dels av spektralfördelningen hos bullret utomhus och dels av den frekvensvägning som görs av bullret inomhus. Här har valts att använda effektivnivån för beskrivning av bullret inomhus. Frekvensspektret hos bullret utomhus måste därför uttryckas i ekvivalenta spektralnivåer.

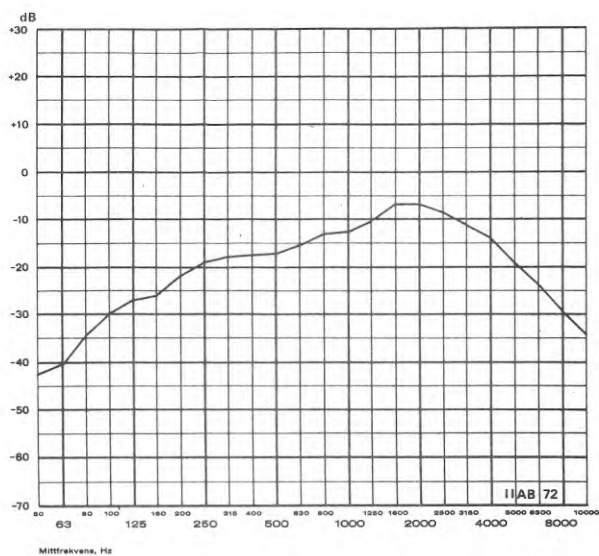


FIG. 29 Värderingskurva för tågbuller.

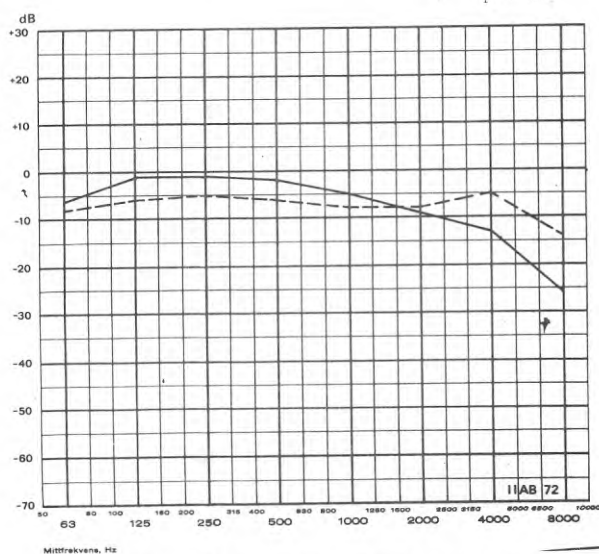


FIG. 30 Maximala oktavbandsnivåer relativt A-vägda ljudnivån för två- och tremotoriga jetflygplan med motorer av turbofantyp. Start (—) och landning (efter Bishop & Horonjeff, 1967).

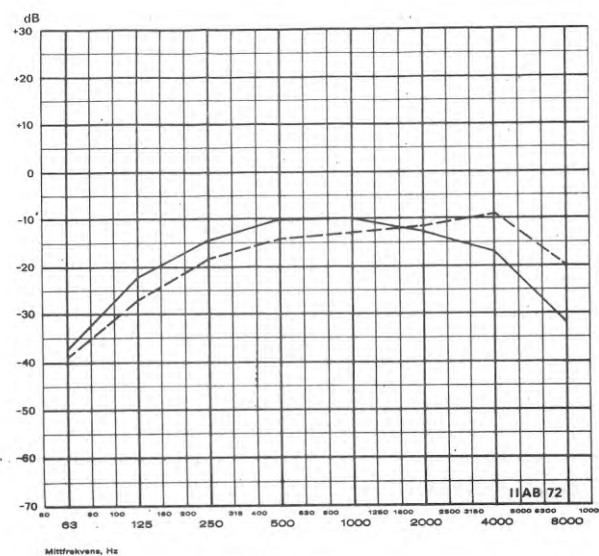


FIG. 31 Värderingskurvor för flygbuller. Start (—) och landning (---).



För gatutrafikbuller har för detta arbete gjorts en serie registreringar av utomhusnivåer, se FIG. 26. Dessa spektra har samtliga erhållits vid en fordonshastighet om 50 km/h, vid varierande avstånd från gatan, 5-150 meter och en andel tunga fordon mellan 0.9 och 16%.

Som synes är avvikelserna i spektrets form mellan olika mätplatser mycket liten. Det medelvärde som erhållits för dessa mätningar stämmer vidare mycket nära överens med ett generaliserat spektrum för vägtrafikbuller som tidigare publicerats (Ingemansson & Ljunggren, 1970).

För frekvensvägningen inomhus har vi tidigare valt den vanliga A-kurvan. Kravkurvan för fönstrets isolering mot gatutrafikbuller får vi därför som utomhusspektret i FIG. 26 plus A-vägningen, se FIG. 27. För vägtrafikbuller blir med det tidigare publicerade vägtrafikspektret på analogt sätt kravkurvan av den form som framgår ur FIG. 27. Medelvärdet av dessa båda kravkurvor ligger vid frekvenser under 1000 Hz mycket nära en rät linje med lutningen 1 dB/ters. Över 1000 Hz är lutningen approximativt - 1 dB/ters.

Relativt få registreringar av effektivnivåspektra från tåg har publicerats. För medelstora avstånd (40-80 m) har dock spektra för olika tågtyper angivits av Ljunggren & Benjegård (1972). I samband med detta arbete gjordes en långtidsregistrering (35 passager) av effektivnivån på 80 meters avstånd vid blandad tågtrafik. Spektret framgår ur FIG. 28 och motsvarande viktningskurva ur FIG. 29.

Trots ett omfattande litteraturstudium har det inte lyckats att få någon uppgift om effektivnivåspektra för flyg. Representativa värden för maximala oktavbandsnivåer för olika kategorier av flygplan har dock redovisats av Bishop & Horonjeff (1967). Dessa värden torde också ge åtminstone en indikation av motsvarande effektivnivåspektra. För startande och landande två- och tre-motoriga plan med turbofläktmotorer framgår genomsnittliga spektra av FIG. 30 och motsvarande värderingskurvor ur FIG. 31.

En sammanställning av de 5 värderingskurvorna framgår ur FIG. 32. De i praktiken viktigaste vägningskurvor är de för gatutrafik, vägtrafik och startande flyg. Dessa kurvor är sinsemellan mycket lika och kan approximeras med en linje med lutning + 1 dB/ters mellan 100 Hz och 1000 Hz.

Över 1000 Hz sjunker dessa 3 kurvor med ökande frekvens och detta område blir därför i allmänhet inte utslagsgivande vid värderingen. De höga frekvenserna är emellertid betydelsefulla för isoleringen mot buller från tåg, landande jetflyg och en mängd bullerkällor av intermitterant typ vanligen i stadsmiljö: skrikande bromsar, skramlande lastbilar, byggarbetsplatser, sirener, signalhorn etc. Dessa typer av bullerkällor är kanske i allmänhet mindre viktiga ur social synvinkel och bör därför inte ges samma vikt vid konstruktionen av ett "integrerat" isoleringsindex för alla typer av bullerkällor utomhus.

Under 1000 Hz bör därför viktningskurvan för det integrerade isoleringsindexet ha lutningen 1 dB/ters. För att inte katastrofalt dålig isolering skall erhållas mot högfrekventa bullerkällor

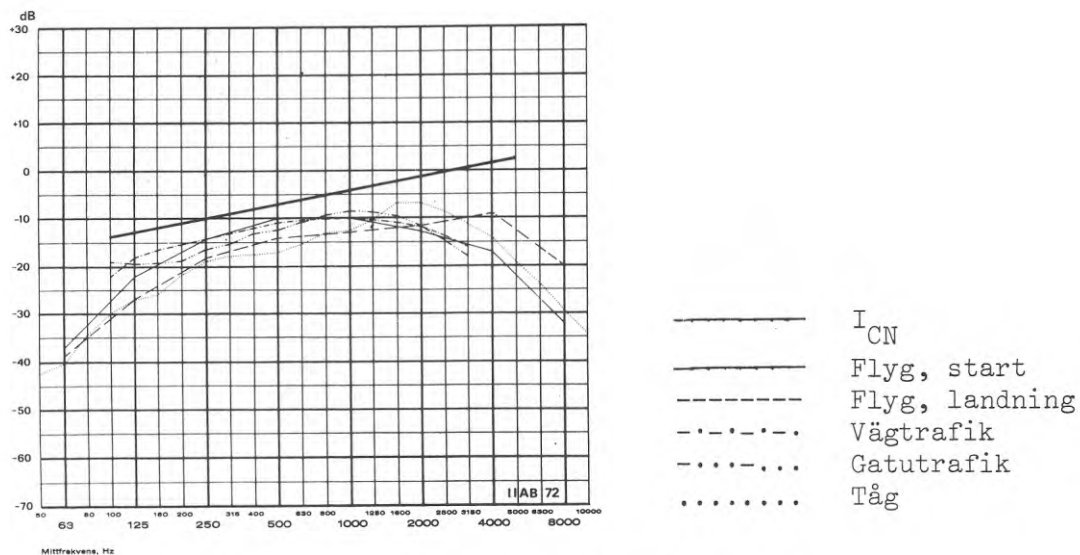


FIG. 32 Värderingskurvor för olika bullertyper

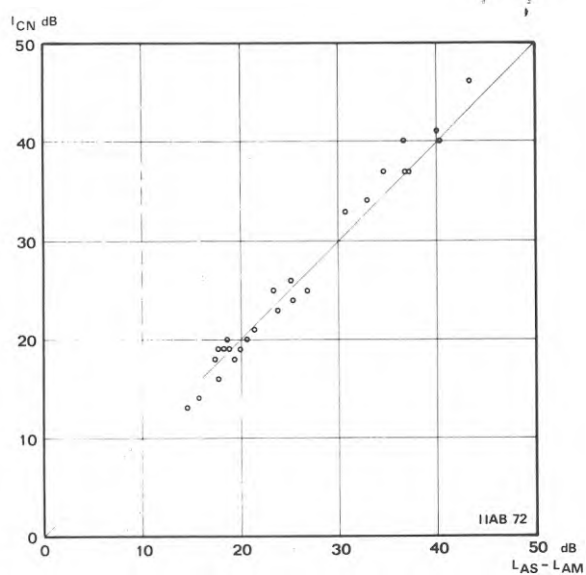


FIG. 33 Beräknade värden på  $I_{CN}$  som funktion av den subjektiva isoleringen  $L_{AS} - L_{AM}$ . Gatutrafikbuller.

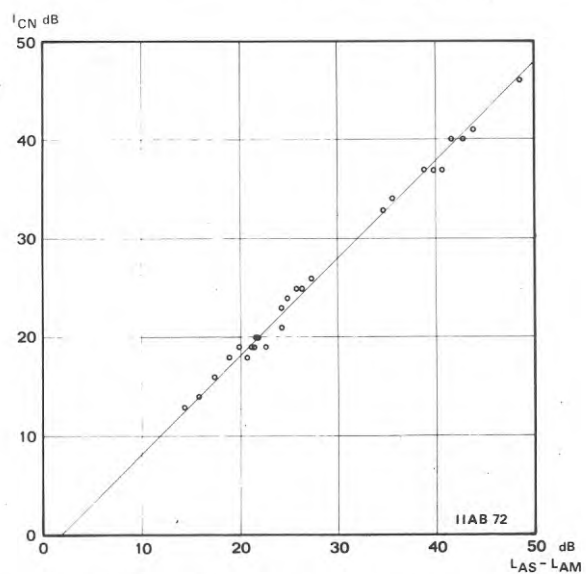


FIG. 34 Beräknade värden på  $I_{CN}$  som funktion av den subjektiva isoleringen  $L_{AS} - L_{AM}$ . Tågbuller.

är det lämpligt att viktningskurvan även över 1000 Hz har samma lutning. Den föreslagna värderingskurvan framgår ur FIG. 32. På detta sätt erhålles en rimlig värdering av exempelvis buller från tåg och landande flyg. Det skall dock observeras, att fönster med mycket dålig isolering vid höga frekvenser (läckage) vid bedömning av enbart trafikbuller kan bli undervärderade enligt denna kurva. Det är å andra sidan inte troligt att det kommer att föreligga något större behov av korrekt värdering av så svaga fönsterkonstruktioner, varför denna nackdel torde vara av mindre betydelse.

Värderingskurvan är avsedd att användas på sedvanligt sätt med en maximal negativ summaavvikelse på i medeltal 2 dB/ters. Någon anledning att införa en sk 8 dB-regel finns inte, eftersom alltid dippar i den laboratoriemätta reduktionstalskurvan återfinns när samma konstruktion mätes under fältförhållanden, se exempelvis FIG. 17.

Beteckningen  $I_{CN}$ , isoleringsindex för samhällsbuller ("community noise"), föreslås för värdet vid 2500 Hz av den högsta referenskurva som uppfyller villkoret om en maximal negativ summaavvikelse om genomsnittligt 2 dB/ters.

Slutligen har  $I_{CN}$  beräknats för ett antal fältmätta isoleringar. Dessa framgår av FIG. 10-23, 25, 35-40. Som  $I_{CN}$  har därvid angetts kurvans läge vid 2500 Hz, vid en summaavvikelse om maximalt 32 dB. I FIG. 33 framgår  $I_{CN}$  som funktion av beräknad effektivnivåskillnad för gatutrafikbuller under förutsättning att rummets absorption är  $10 \text{ m}^2$  och fönsterytan  $2 \text{ m}^2$  vid alla frekvenser, dvs

$$L_U - L_M \approx R + 10 \log \frac{\pi A}{2s} - 3 \approx R + 6 \quad \text{dB} \quad (21)$$

där  $L_U$  är den ekvivalenta ljudnivån i fasadens plan minus 3 dB.

I FIG. 33 framgår att  $I_{CN}$  är approximativt lika med denna effektivnivåskillnad för gatutrafikbuller.

På analogt sätt framgår sambandet mellan  $I_{CN}$  och beräknad effektivnivåskillnad för tågbuller ur FIG. 34. I detta fall är nivåskillnaden approximativt lika med  $I_{CN} + 2 \text{ dB}$ , dvs en viss fönsterkonstruktion ger genomsnittligt 2 dB bättre isolering mot buller från tåg än från gatutrafik.

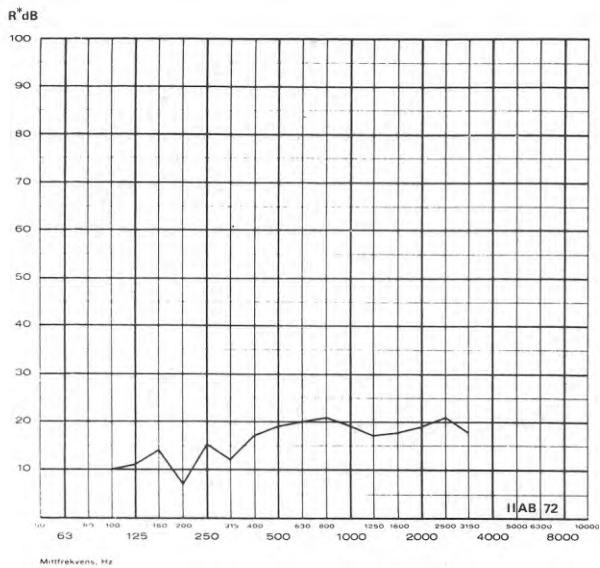


FIG. 35 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med skumplastlist.

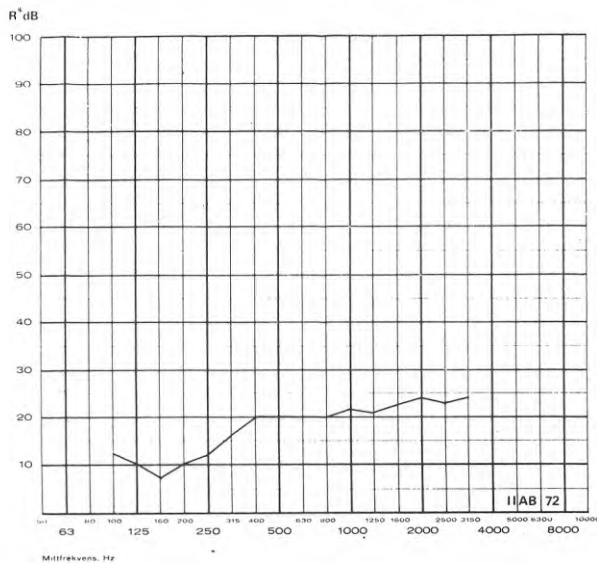
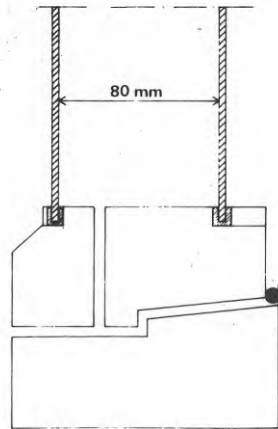


FIG. 36 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med textillist.

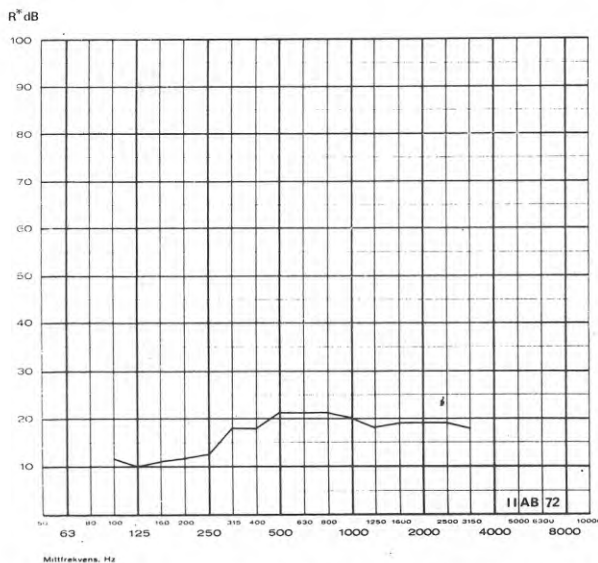
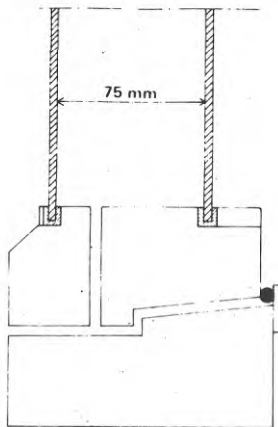
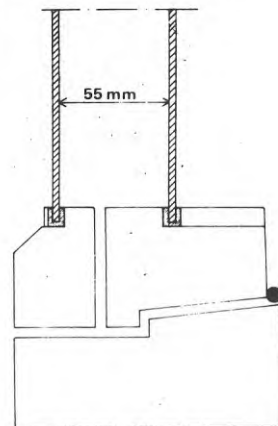


FIG. 37 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med textillist.



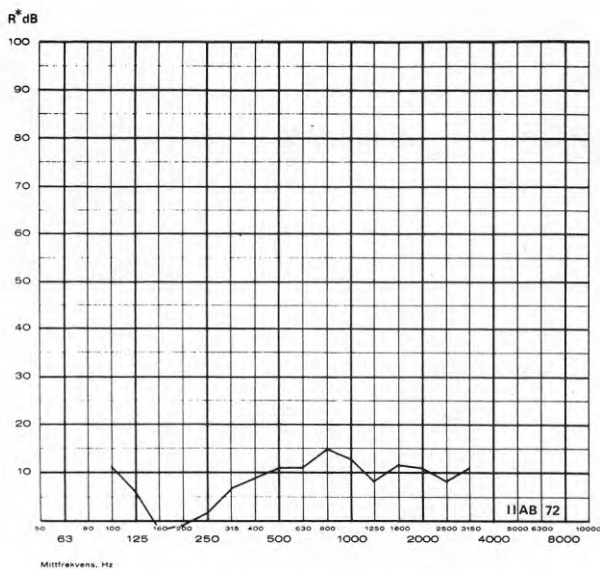


FIG. 38 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med textillist.

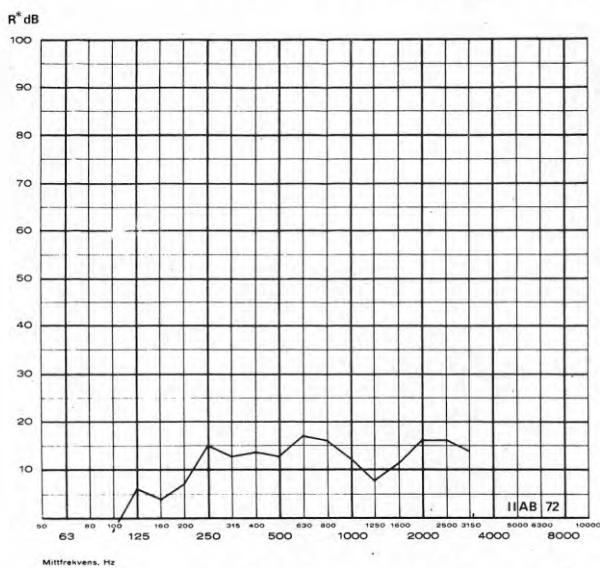
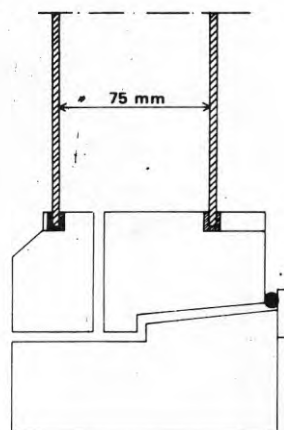


FIG. 39 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med skumplastlist.

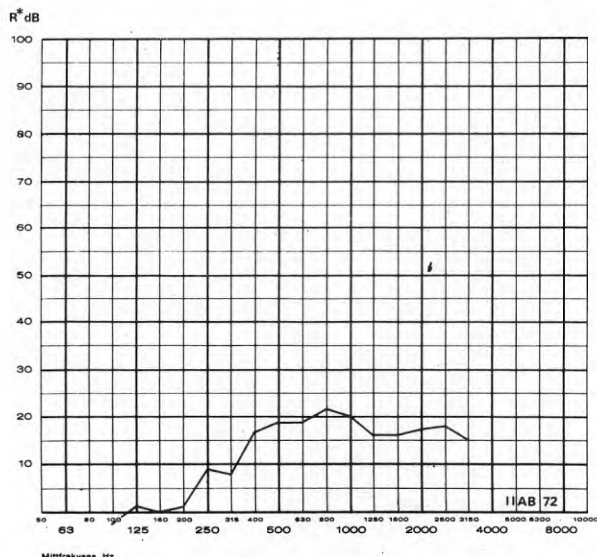
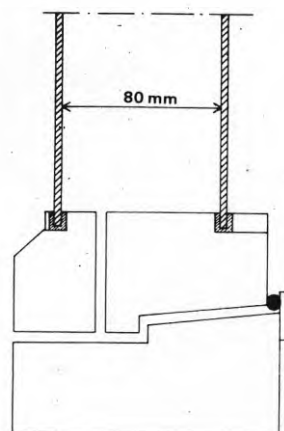
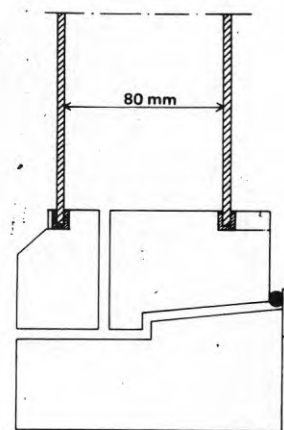


FIG. 40 Reduktionstal hos en fönsterkonstruktion, uppmätt i fält. Tätning med textillist.



## REFERENSER

- ASTM, E 336-67 T, 1968. Tentative recommended practice for measurement of airborne sound insulation in buildings.
- BBN, 1966, Methods for improving the noise insulation of houses with respect to aircraft noise. (Bolt Beranek and Newman inc, report 1387, Nov. 1966).
- Beranek, L, L, 1954, Acoustics. McGraw-Hill. New York-Toronto-London.
- Bishop, D, E & Horonjeff, R, D, 1967, Procedures for developing noise exposure forecast areas for aircraft flight operations. (Department of Transportation, Federal Aviation Administration) FAA DS-67-10, Washington.
- Buchta, E, Meister, F, J & Ruhrberg, W, 1968, Schallbelastung normaler Stadtschulen durch den Strassenverkehrslärm und die Bestimmung der natürlichen Fensterdämmung. Die Schalltechnik (1968) nr 47, p 1-11.
- Cremer, L, 1960, Der Sinn der Sollkurven. Chapter 1 in Schallschutz von Bauteilen. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1960, p 1-9.
- Cummings, A & Mulholland, K,A, 1968, The transmission loss of finite sized double panels in a random incidence sound field. J. Sound Vib 8 (1968) p 126-133.
- DIN 18005 Vornorm, 1971, Schallschutz im Städtebau.
- Donato, R, J, 1966, Direct-energy density in transmission loss measurements. J ac Soc Am 40 (1966) p 1-3.
- Eisenberg, A, 1958, Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen. I Glastechnische Bericht 31 (1958) p 297-302.
- Eisenberg, A, 1969, Schalldämmung von Fenstern. Berichte aus der Bauforschung (1969) Heft 63, p 23-37.
- Gösele, K, 1965, Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen nach Sollkurven. Acustica 15 (1965) p 264-270.
- Ingemansson, S, & Ljunggren, S, 1970, Bullerproblem vid trafikleder. (Statens institut för byggnadsforskning, rapport R20:1970). Stockholm.
- ISO R 140, 1960, Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission.
- ISO R 1996, 1971, Assessment of noise with respect to community response.
- ISO/TC 43/SC 2, No 19, Second proposal for the revision of ISO recommendation R 140 on account of the meeting of WG 2 in Vienna on 14th and 15th September 1971.

de Lange, P, A, Sound insulation of glazing with respect to traffic noise. Applied Acoustics 2 (1969) p 215-236.

Ljunggren, S, 1971, Ljudkällor och mätstorheter. Föredrag vid Symposium om vejtrafikstøj. Danmarks Tekniske Højskole, 13-14 maj, 1971.

Ljunggren, S, 1972, A design guide for road traffic noise. (The National Swedish Institute for Building Research, Document Dx:1972), Stockholm, in print.

Ljunggren, S, & Benjegård, S, 1972, Projektering med hänsyn till tågbuller. Byggmästaren nr 1, 1972, s 13-17.

London, A, 1941, Methods for determining sound transmission loss in the field. J Research Natl Bur Standards 26 (1941) p 419-453.

London, A, 1950, Transmission of reverberant sound through double walls. J ac. Soc Am 22 (1950) p 270-279.

Lukasik, S, J, & Nolle, A, W, ed, 1955, Handbook of acoustic noise control. Vol 1, supplement 1. (Wright Air Development Center, Technical Report 42-204).

Mulholland, K, A, Parbrook, H, D, & Cummings, A, 1967, The transmission loss of double panels. J Sound Vib 6 (1967) p 324-334.

Sewell, E, C, 1970, Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle. J Sound Vib 12 (1970) p 21-32.

Swedish Board of Planning, 1971, Samhällsplanering och vägtrafikbuller, Stockholm.

Traffic noise in dwelling areas, 1968. (The National Swedish Institute for Building Research, Report 36/68 E), Stockholm.

White, P, H, 1965, Sound transmission of double flexible walls excited by random pressure fields. Ph Dr. Thesis, University of California, Los Angeles, January 1965.

Wyle Laboratories, 1971, Supporting information for the adopted noise regulations for California airports. (Wyle Laboratories Research Staff, El Segundo, California, January 29, 1971). Report No. WCR 70-3 (R).

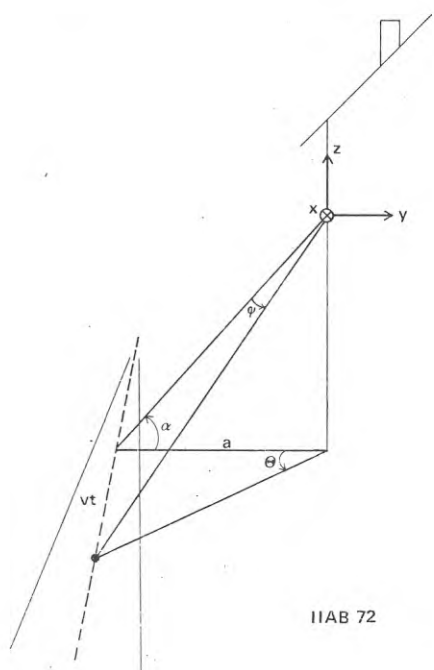


FIG. A1 Orientering av koordinatsystemet och definition av vinklarna  $\alpha$ ,  $\theta$  och  $\phi$ .

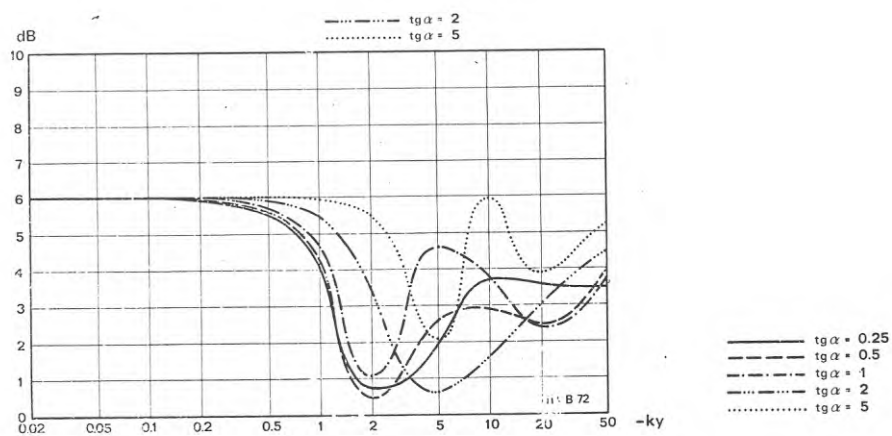


FIG. A2 Interferensmönstret framför en vertikal, akustiskt hård yta.

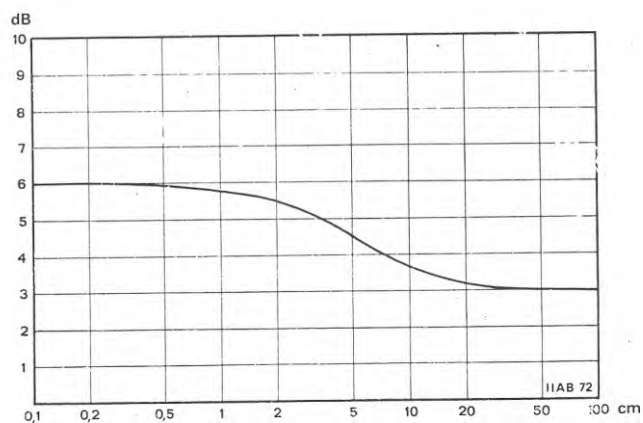


FIG. A3 Inverkan av en akustiskt hård, vertikal yta på effektivnivån från trafikbuller.



APPENDIX A. INVERKAN AV EN HUSRAD VID ENKEL-  
SIDIG BEBYGGELSE

Interferensmönstret framför en fasad har studerats för det typfall, som är skisserat i FIG. A1. Vi förutsätter att källan rör sig i en linje parallell med fasaden med konstant hastighet. Ingen hänsyn tas till markreflexen eller tillskotts-dämpning. Effektivnivån från ett passerande fordon kan då skrivas:

$$L_{\text{eff}} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P \rho c}{\pi(a^2 + v^2 t^2)} \left| \frac{1}{\sqrt{2}} e^{jk(x \sin \phi + y \cos \phi \cos \alpha + z \cos \phi \sin \alpha)} + \frac{1}{\sqrt{2}} e^{jk(x \sin \phi - y \cos \phi \sin \alpha + z \cos \phi \sin \alpha)} \right|^2 dt \right\} \text{ dB} \quad (\text{A.1})$$

där

$P$  = fordonets akustiska uteffekt  
 $v$  = fordonets hastighet  
 $\rho c$  = luftens karakteristiska impedans  
 $T$  = betraktat tidsintervall  
 $t$  = tiden  
 $k$  = vågtalet

Koordinatsystemets orientering och vinklarnas definition framgår ur FIG. A.1.

Utförs belopplingen får vi omedelbart, att

$$L_{\text{eff}} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P \rho c}{\pi(a^2 + v^2 t^2)} 2 \cos^2(ky \cos \phi \cos \alpha) dt \right\} \text{ dB} \quad (\text{A.2})$$

Ur FIG. A.1 erhålles vidare, att

$$a^2 + v^2 t^2 = \frac{a^2}{\cos^2 \theta} \quad (\text{A.3})$$

$$\cos \phi = \frac{a}{\cos \alpha \sqrt{\frac{a^2}{\cos^2 \alpha} + a^2 \text{tg}^2 \theta}} \quad (\text{A.4})$$

och härur

$$dt = \frac{a d\theta}{v \cos^2 \theta} \quad (\text{A.5})$$

Insättning i ekvation A.2 ger

$$L_{\text{eff}} = 10 \log \left\{ \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{P \rho c d\theta}{T a v} 2 \cos^2 \left( ky \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} + \text{tg}^2 \theta}} \right) \right\} \text{ dB} \quad (\text{A.6})$$

TAB. A1. Fasadens nivåhöjande inverkan i markplanet ( $\alpha = 0$ ).  
Tersband. Avstånd från fasad 0.5 m.

f Hz	dB	f	dB
50	5.8	800	3.1
63	5.3	1000	3.1
80	4.8	1250	2.9
100	4.2	1600	3.0
125	3.1	2000	3.0
160	1.8	2500	2.8
200	0.9	3150	2.9
250	1.7	4000	3.0
315	3.5	5000	3.3
400	4.0	6300	3.1
500	2.4	8000	2.9
630	2.9	10000	3.2

TAB. A2. Fasadens nivåhöjande inverkan i  
markplanet ( $\alpha = 0$ ). Oktavband.  
Avstånd från fasad 0.5 m.

f Hz	dB
63	5.2
125	2.9
250	2.2
500	3.1
1000	3.0
2000	2.9
4000	3.1
8000	3.1

Om vi väljer  $T$  tillräckligt stort, kan effektivnivån i fallet utan reflekterande vägg skrivas

$$L_{\text{eff}} = 10 \log \frac{\bar{P}_{pc}}{2T_{av}} \text{ dB} \quad (\text{A.7})$$

där  $\bar{P}$  är fordonets akustiska uteffekt integrerat i planet  $\alpha = 0$  och över de  $180^\circ$  som vätter mot fasaden.

Förutsättes nu att  $P$  är oberoende av vinklarna  $\beta$  och  $\theta$ , eller varierande på så sätt att i ekvation (A.6)  $P$  och cosinusfaktorn kan integreras var för sig - detta förbehåll torde åtminstone approximativt vara uppfyllt om en trafikström betraktas - kan väggens nivåhöjande verkan skrivas:

$$\Delta L = 10 \log \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 4 \cos^2 \left( \frac{ky}{\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} + \text{tg}^2 \theta}} \right) d\theta \right\} \text{ dB} \quad (\text{A.8})$$

Ekvation (A.8) synes inte vara uttryckbar i explicit form; för fallet  $\alpha = 0$  erhålles dock

$$\Delta L_{\alpha=0} = 10 \log \{2(1+J_0(2ky))\} \text{ dB} \quad (\text{A.9})$$

Det allmänna fallet - ekvation (A.8) - har behandlats numeriskt för några olika värden på vinkeln  $\beta$ . Resultatet framgår ur FIG. A.2.

Vid de företagna fältmätningarna har mikrofonen av praktiska skäl inte placerats i fasadens plan utan 0.50 m framför fasaden. Eftersom därvid speciellt fallet  $\alpha = 0$  har studerats, har ekvation (A.9) integrerats över ters- och oktavband med  $y = 0.50$  m och under antagande att nivån är oberoende av frekvensen inom respektive frekvensband. Resultatet framgår ur TAB. A1 och A2, motsvarande resultat för den A-vägda ljudtrycksnivån framgår ur FIG. A3.



**R46: 1973**

**Denna rapport avser anslag C 707 från Statens råd för byggnadsforskning till Ingemanssons Ingenjörbyrå AB, Göteborg  
Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Grupp: konstruktion**

**Pris: 14 kronor**