

3/68

Stig Ingemansson:

LJUDISOLERANDE FÖNSTERKONSTRUKTIONER

Sound Insulating Window Constructions

Rapport 3:1968

UDK 69.028.2
699.844

LJUDISOLERANDE FÖNSTERKONSTRUKTIONER
SOUND INSULATING WINDOW CONSTRUCTIONS

av civilingenjör Stig Ingemansson, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Statens institut för byggnadsforskning • Box 27 163 • Stockholm 27

Denna rapport utges enligt byggforskningsrådets beslut med medel från fonden för byggnadsforskning; försäljningsintäkterna tillfaller fonden.

Preface

The tests outlined in this report relate to the practical possibilities of increasing the sound insulation of windows, primarily against traffic noise. The tests are a part of an investigation on traffic noise, which the editor and Hans Elvhammar E.E. are conducting for the National Swedish Council for Building Research. The preparatory investigations were given as an examination subject to the technological students, Lisbeth and Ingemar Fall, who carried out measurements on traffic noise in streets and Leif Olsson and Arne Pauli, who did the first laboratory tests. Other members of the staff to whom the editor wishes to express his thanks for their valuable help are Sten Ljunggren E.E. and Karsten Lande.

As the theories only permit qualitative judgements, they have not been included in the report.

In the tables contained in the appendix the arithmetic average value \bar{R} , the airborne sound insulation index I_a and the traffic noise insulation index I_t , which were used for all window constructions tested in the survey, are to be seen.

In the article I_a and I_t have been calculated with a maximum total deviation of 16dB. With the definition of the airborne sound insulation index given by ISO in its recommendation R880, now about to be published, the maximum total deviation permissible is 32dB and the maximum deviation within an arbitrary frequency range 8dB. In the appendix I_a is calculated according to ISO R880 and I_t with the same maximum deviations (32 and 8dB). This change means raising I_a and I_t together with the values given in the article by 1dB.

Contents

Ljudisolerande fönsterkonstruktioner	4
(Något reviderat eftertryck ur tidskriften Byggmästaren 2:1967)	
Glossary of words appearing in the illustrations	11
Sound insulating window constructions	12
Appendix: Compilation of the results of all tests made in the investigation	19

De flesta fönsterkonstruktioner utgörs av tvåglas-system. En sådan akustisk dubbelvägg har mycket lågt reduktionstal i området kring dubbelväggens grundresonans. Denna bestäms av glasens ytvikt och luftspaltens bredd och ligger i allmänhet under 250 Hz. Trafikbullret har sina högsta ljudtrycksnivåer under denna frekvens. Även om vi väger det frekvensberoende isoleringsbehovet med någon kriteriekurva, exempelvis en N-kurva, kvarstår det faktum att isoleringsbristen är störst vid de låga frekvenserna.

Att fönsterkonstruktionerna i allmänhet är akustiskt otätade mellan båg- och karm ger visserligen störst försämrning av isoleringen vid höga frekvenser men betyder ändå mest vid de låga.

Den största förbättringen i en dubbelväggs reduktionstal fås genom ökning av delväggarnas massa, men man får problem med koincidenseffekten vid glastjocklekar över 4 mm. Med olika glastjocklek i de två delväggarna kan detta problem i viss mån elimineras.

Från värmeisolerings synpunkt är en spaltbredd på cirka 3 cm den optimala. Från ljudisolerings synpunkt behövs en mycket större spaltbredd för att få grundresonansen under 100 Hz.

Med de praktiskt och ekonomiskt betingade förutsättningarna att luftspalten högst får vara 10 cm bred och största glastjockleken 8 mm, har olika kombinationer av glas teoretiskt och praktiskt studerats i icke öppningsbara fönsterkonstruktioner. Även inverkan av karmabsorbent har undersökts.

På basis av dessa resultat har olika tätningssammansättningar provats på ett öppningsbart fönster.

Bortsett från att avståndet mellan glaserna ökat från normalt 3 à 5 cm till närmare 10 cm har fönstret varit av standardutförande.

Isoleringen har vägts dels med BABS:s kravkurva, dels med en speciell vägningskurva för trafikbuller, framtagen som examensarbete vid Chalmers tekniska högskola. En förbättring jämfört med normala fönster på ca 14 dB har erhållits (lyftning av kravkurvan).

I en kombination med ett skilleglas (för värmeisolerings) och ett enkelglas kan goda värmeisolerings egenskaper erhållas samtidigt med en något ytterligare förbättrad ljudisolerings.

Under förutsättning att karmabsorbenten har tillräcklig tjocklek kan den ge ett värdefullt isoleringstillskott. Den blir naturligtvis mest aktuell vid icke öppningsbara fönsterkonstruktioner.

Vid frekvensvägningen av relativa isoleringsbehovet för exempelvis en lägenhetsskiljande vägg har vi sedan 1960 använt en gemensam nordisk kravkurva och frångått det gamla medelreduktionstalet R_{10} . Denna frekvensvägningskurva, som med stor sannolikhet blir rekommenderad för internationellt bruk av ISO förutsätter ett speciellt frekvensspektrum hos ljudkällan karaktäristiskt för en blandning av tal, radio- och TV-ljud m m. Eftersom trafikbullret har en helt annan frekvenssammansättning med dominans vid låga frekvenser kan det inte vara rimligt att använda samma frekvensvägning då trafikbullret är storkällan. I ett examensarbete på CTH [7] ingick att på basis av trafikbullermätningar konstruera fram en lämplig kravkurva speciellt för trafikbuller. Den resulterande kurvan visas tillsammans med den välkända kravkurvan för »inomhusisolering» i bild 1. Den största skillnaden ligger som väntat vid de låga frekvenserna, men även vid höga frekvenser får vi ett annorlunda förlopp. Vid de försök som här skall redovisas, att med relativt små medel förbättra fönstrens isoleringsförmåga mot trafikbuller, har vi använt denna speciella kravkurva. För att få ett tal- mässigt värde på den isoleringsförmåga som representeras av en kurva över isoleringen vid olika frekvenser går man till väga på följande sätt.

Kravkurvan flyttas upp eller ned tills summaavvikelsen vid de normerade mätfrekvenserna mellan kravkurva och mätt kurva där den mätta kurvan ligger under kravkurvan blir 16 dB. Det värde kravkurvan då har vid 500 Hz kallas isoleringsindex mot trafikbuller I_t .

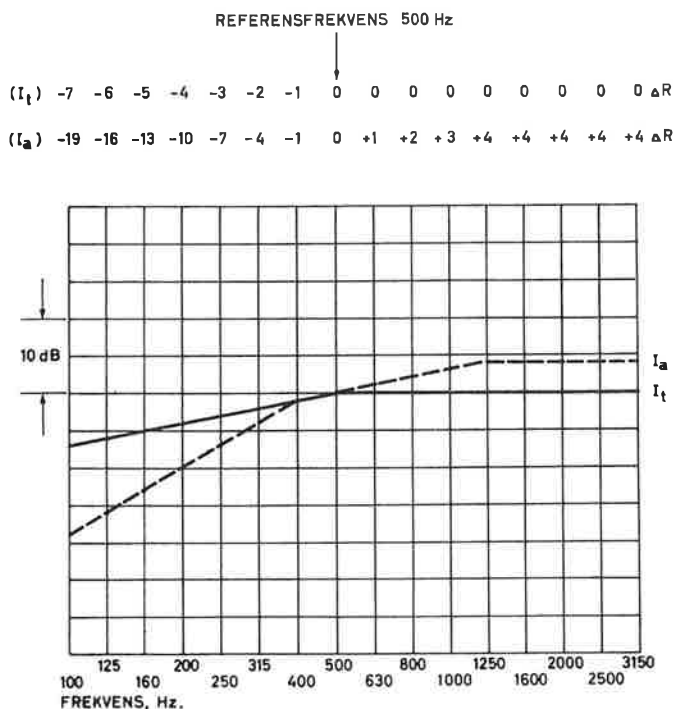
På samma sätt definieras I_n vid inomhusisolering, varvid kravkurvan enligt BABS 1960 används.

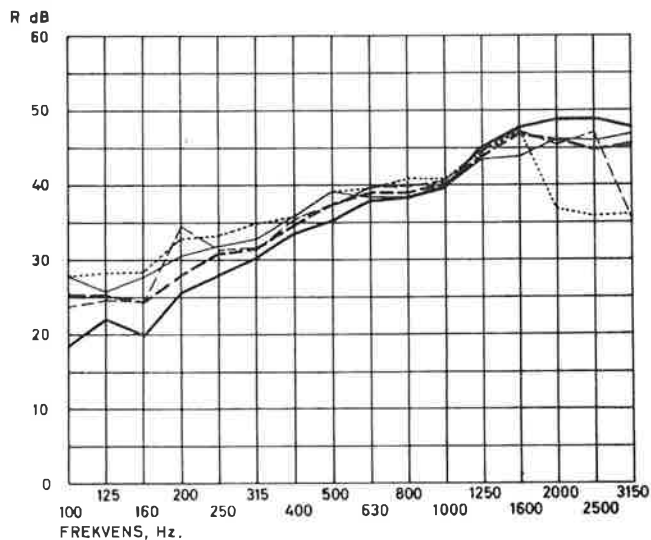
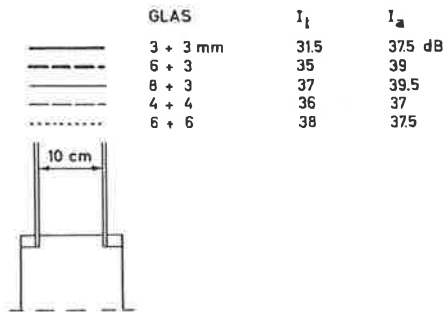
Av praktiska—ekonomiska skäl har vi i denna utredning från början satt följande begränsningar i fönsterkonstruktionernas dimensionering.

1. Inget glas får ha större tjocklek än 8 mm.
2. Maximalt glasavstånd skall vara 10 cm.
3. Fönsterbågar och karmar av typer som redan är i marknaden ska kunna användas.

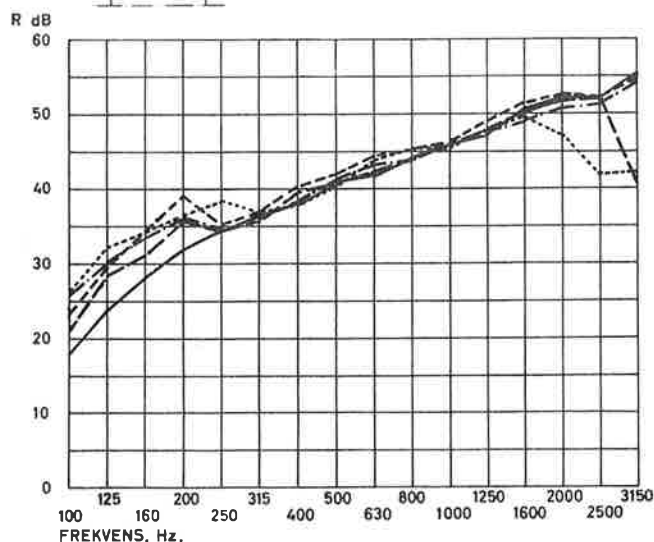
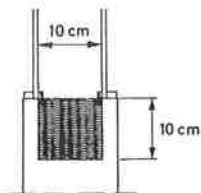
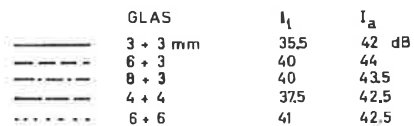
1
Frekvensvägning för bostadsbuller respektive trafikbuller.

Frequency weighing curves for residential noise and traffic noise.





2



2

Reduktionstal för olika kombinationer av glastjocklek. Ingen karmabsorbent.

Transmission loss for various combinations of pane thickness. No absorbing material on the frame.

3

Reduktionstal för olika kombinationer av glastjocklek. 10 cm karmabsorbent.

Transmission loss for various combinations of pane thickness. 10 cm absorbing material on the frame.

För att kunna utnyttja resultaten av de omfattande fönsterundersökningar som Brandt [2] tidigare gjort, har vi vid våra försök använt samma glasstorlekar.

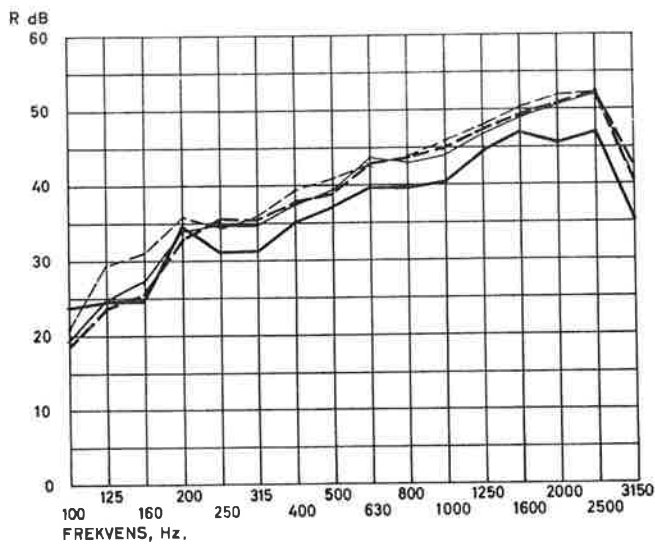
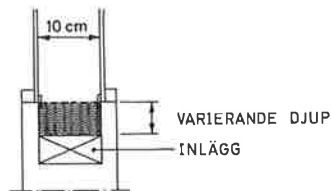
Teoretiskt är det endast möjligt att studera inverkan av olika parametrar hos dubbelväggskonstruktioner kvalitativt. Teorierna [3] säger oss att vi från början bör inrikta oss på avståndet 10 cm för att få dubbelväggens lägsta resonans nära eller under 100 Hz.

Fasta fönster

Det framgår inte direkt av teorierna, men vi vet av praktisk erfarenhet att dubbelväggen liksom enkelväggen har mycket sämre reduktionstal vid delväggarnas koincidensfrekvenser. Denna försämring blir särskilt markant om båda delväggarna har samma koincidensfrekvens. Vi bör därför förskjuta dessa koincidensfrekvenser inbördes eller lägga någon av dem över 3 200 Hz. Utgående från teorierna och med hänsyn tagen till kravkurvas form har vi tagit fram några kombinationer av glastjocklekar som borde vara gynnsamma. Dessa kombinationer har vi mätt i en fast fönsterkonstruktion, dvs med risken för läckage mellan båge och karm eliminerad. Resultatet framgår av bild 2 med dess diagram och tabeller. Bilden visar att det är liten vinst med olika tjocklekar i glaset. Vad som däremot är mycket markant är den stora vinsten vid övergång från 3 mm glas till 4 mm glas. Här har vi en förbättring av I_t med 4,5 dB. Eftersom vi redan klassar våra väggar i steg om 4 dB, kan vi här tala om en klassförbättring.

Vi vet vidare att en ljudabsorbent i dubbelväggens spalt kan ge en avsevärd höjning av reduktionstalet. Däremot finns det mycket motsägande uppgifter om effekten av en ljudabsorbent i karmen hos en dubbelglaskonstruktion. En eventuell förbättring måste ofrånkomligt vara beroende av absorbentens tjocklek, dvs av absorptionsförmågan vid låga frekvenser. Vi har därför upprepat försöken enligt bild 2 med en 10 cm tjock karmabsorbent. För samtliga provade kombinationer har därmed I_t lyfts mellan 2 dB och 4,5 dB, såsom framgår av bild 3. De undersökta kombinationernas inbördes värdering med avseende på I_t kvarstår nästan oförändrad. Kombinationen med två 4 mm glas på 10 cm avstånd ger fortfarande ett gynnsamt resultat i förhållande till materialinsatsen. De fortsatta försöken fick därför huvudsakligen gälla denna kombination trots att 6 mm + 6 mm glas ger bästa isoleringen.

		I_t	I_a
—	INGEN ABSORBENT	36	37 dB
- - -	2.5 cm "	34.5	42
— — —	5.0 " "	35.5	41.5
- - - -	10 " "	37.5	42.5



4

4

Inverkan av absorbertjocklek på kombinationen 4 mm glas—10 cm spalt—4 mm glas.

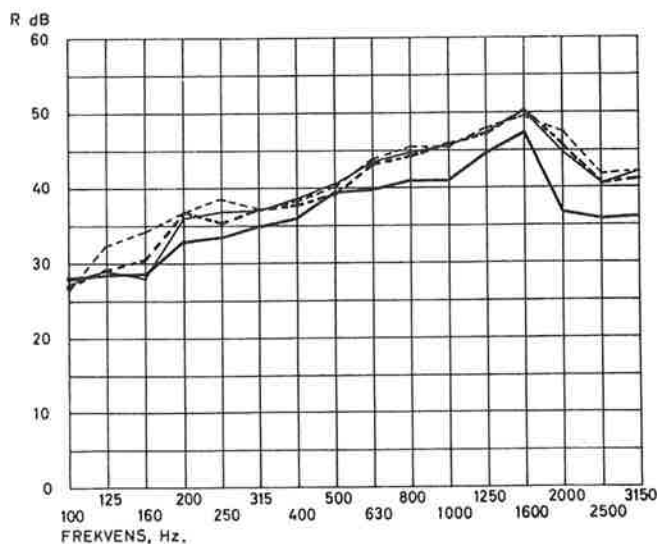
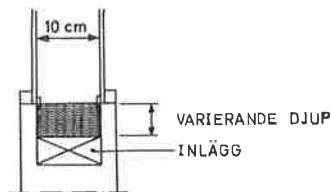
Effect of thickness of absorbing material on the frame on the combination 4 mm pane—10 cm cavity—4 mm pane

5

Inverkan av absorbertjocklek på kombinationen 6 mm glas—10 cm spalt—6 mm glas.

Effect of thickness of absorbing material on the frame on the combination 6 mm pane—10 cm cavity—6 mm pane

		I_t	I_a
—	INGEN ABSORBENT	38	37.5 dB
- - -	2.5 cm "	39.5	42
— — —	5.0 " "	39.5	42.5
- - - -	10 " "	41	42.5



6

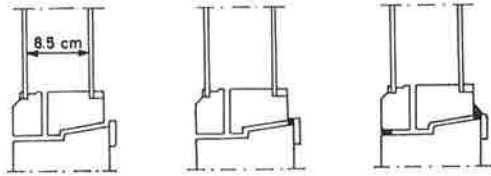
Nästa steg blev att studera hur isoleringstillskottet från karmabsorbenten är beroende av absorbentens tjocklek i kombinationen 4 mm + 4 mm glas. Av bild 4 framgår att tillskottet är negativt vid 2,5 cm och vid 5 cm tjock karmabsorbent på grund av ogynnsam kurvformsändring och att vi får en förbättring av 1,5 dB först vid 10 cm tjocklek. En sådan absorber kan relativt lätt byggas in i en fast fönsterkonstruktion men är svår att införa i ett öppningsbart fönster.

Motsvarande undersökning med olika tjock karmabsorbent har även gjorts med den bästa glas-kombinationen 6 mm + 6 mm glas på 10 cm avstånd. Som framgår av bild 5 ger redan en 2,5 cm tjock absorber en höjning av I_t i denna kombination. Detta beror främst på att den högfrekventa koincidensförsämringen, vilken är större vid 6 mm glas än vid 4 mm glas, motverkas. Störst förbättring får vi som väntat av 10 cm tjock absorber med $I_t = 41$ dB mot $I_t = 37,5$ dB för motsvarande konstruktion med 4 mm glas.

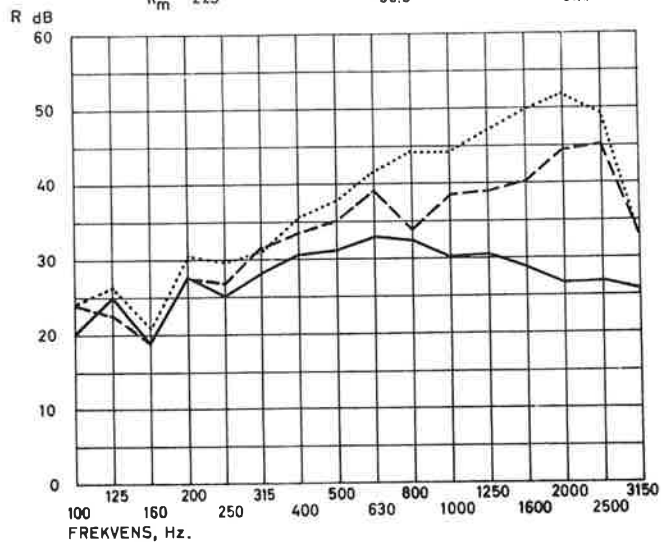
Vid ett par försök ökades luftspalten från 10 cm till 20 cm. Därvid erhöles mycket små förbättringar. Detta måste innebära att ljudöverföringen via den gemensamma karmen vid detta glasavstånd blir av samma storleksordning som överföringen via luftspalten. Med andra karmutföranden bör gynnsammare resultat kunna erhållas.

Öppningsbara fönster

För våra försök på öppningsbara fönster valde vi en konstruktion med stort glasavstånd som redan finns i marknaden. Vi fick den dock modifierad för samma glasformat som vid försöken på fasta fönster. Där emot behöll vi standardkonstruktionens 8,5 cm spalt mellan glasen. Även om detta fönster låtas perfekt måste vi därför räkna med något sämre resultat än vid fönster med fasta glas och 10 cm avstånd.



I_t	29.5	32.5	34.5 dB
I_a	27	35.5	37.5
R_m	27.5	33.5	37.5



6

6

Isoleringsförsämring på grund av läckage. 4 mm glas.

Deterioration of insulation due to leakage. 4 mm pane.

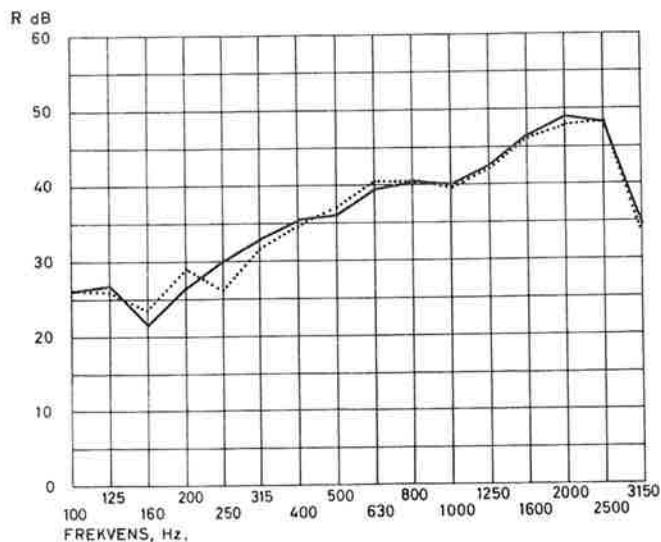
7

Isolering hos tätat fönster utan och med luftningshål. 4 mm glas.

Insulation in a sealed window with and without ventilation holes. 4 mm pane.



I_t	34.5	34 dB
I_a	37.5	37
R_m	36	36



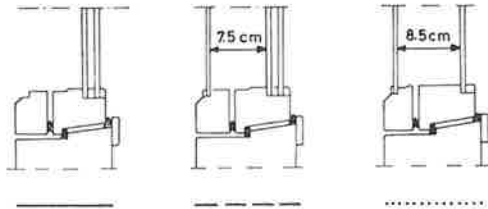
Vi vet att långsmala öppningar, i det aktuella fallet springor mellan karm och båg, ger extremt stora ljudläckage. Bild 6 visar reduktionstalen för det vid försöken använda pivåfönstret först otätat, sedan på ena sidan tätat med en rektangulär gummilist och slutligen heltätat med gummilister och kitt. Isoleringsförsämringen på grund av läckage är som synes stor.

Vid de fortsatta försöken med tätningar av detta läckage använde vi huvudsakligen en V-formad gummilist, som redan förekommer på vissa ljudisolerande dörrkonstruktioner.

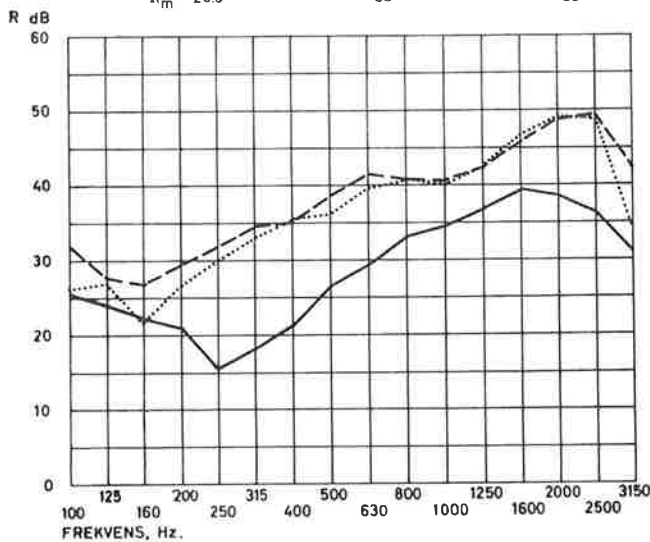
För att minska risken för kondens på ytterglaset insida lämnar man avsiktligt en öppen spalt mellan fönstrets båda bågar samt fritt tillträde för ytterluften. Vi kan därför inte utan olägenhet täta mellan ytterbåge och karm med provkonstruktionens karmutformning. Dels finns inget anslag där en effektiv tätning kan monteras, dels förhindrar vi luftningen mellan glaset.

Om det däremot är möjligt att ordna luftningen på annat sätt, kan vi placera en tätning mellan bågarna enligt bild 7. Det kända faktum att en cirkulär kanal ger avsevärt högre ljuddämpning än en kanal med långsmalt tvärsnitt men med samma tvärsnittsarea utnyttjar vi för att åstadkomma en luftning med ringa ljudläckage. Konstruktionen till höger i bild 7 har fem cirkulära hål upp till och fem ned till med 5 mm diameter. Enligt fönsterspecialister skall dessa tio hål ge tillräcklig luftning mot kondens. I_t och I_a sänks endast 0,5 dB (med 22 hål upp till och 22 ned till blir sänkningen 2 dB).

Vi är nu framme vid en relativt lindrig modifikation av ett öppningsbart standardfönster, som dock ger en väsentlig isoleringsförbättring mot trafikbuller. En

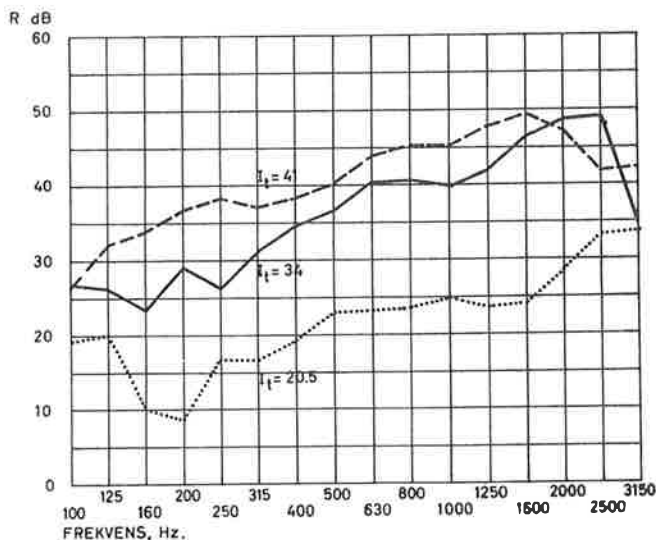


I_t	25.5	37	34.5 dB
I_a	27.5	40	37.5
R_m	28.5	38	36



8

- R FÖR FÖNSTER MED 2 x 4 mm GLAS PÅ 8.5 cm AVSTÅND. TÄTAT MED V-LIST. 10 LUFTNINGSHÅL.
- - - R FÖR FÖNSTER MED 2 x 6 mm GLAS PÅ 10 cm AVSTÅND. 10 cm KARMABSORBENT I FAST BÅGE.
- R FÖR STANDARDFÖNSTER MED 2 x 2 mm GLAS PÅ 3.5 cm AVSTÅND. INGA SPECIELLA TÄTNINGSÅTGÄRDER.



8

8

Värmeisoleringsglas. Dito kombinerat med ett enkelglas samt två enkelglas.

Heat insulating pane. The same combined with a single pane and two single panes.

9

Isolering med förbättrad konstruktion relativt »normal» konstruktion.

Insulation with improved design compared to "normal" design.

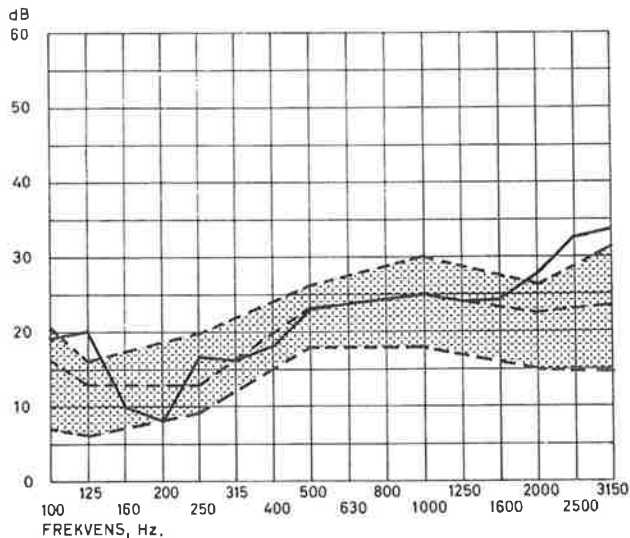
nackdel är dock denna konstruktion behäftad med. Ökningen av glasavståndet från normalt 3,5 cm till 8,5 cm ger försämrade värmeisoleringssegenskaper. Nu inställer sig frågan om det kan löna sig att använda de hermetiskt slutna värmeisoleringsglas som finns i marknaden. På grund av att den lilla spaltbredden i dessa ger en hög grundresonansfrekvens är de ensamma ogynnsamma från ljudsynpunkt. I bild 8 visas reduktionstalskurvan (grundresonansfrekvens 250 Hz) för ett sådant värmeisoleringsglas bestående av två 4 mm glas limmade till en 1,2 cm bred metallram. I_t är endast 25,5 dB. I kombination med ytterligare ett 4 mm glas på 7,5 cm avstånd ger det däremot 2,5 dB högre I_t än två 4 mm glas på 8,5 cm avstånd. Vi har därmed en konstruktion som ger både stor värmeisolering och god isolering mot trafikbuller. Om isolerglas och 4 mm-glas byter plats (av hållfasthetsskäl är detta ej möjligt i provkonstruktionen) blir ljudisoleringen qförändrad. Luftningshålen bör då kunna slopas helt.

Resultat

För att nu visa vad vi har vunnit med våra modifikationer av fönstren gör vi i bild 9 en jämförelse med reduktionstalet för en av de i dag vanligaste fönsterkonstruktionerna. Jämförelseobjektet är en standardkonstruktion med 2 x 2 mm glas på 3,5 cm avstånd och utan några tätningar. Dess trafikbullerindex $I_t = 20,5$ dB.

I förhållande till denna ställs den något dyrare konstruktionen med 2 x 4 mm glas på 8,5 cm avstånd, med 10 cirkulära luftningshål och med tätninglistor samt den icke öppningsbara konstruktionen med 2 x 6 mm glas på 10 cm avstånd och med

--- MÄTNINGAR I 4 LÄGENHETER MED TVÅ-GLASFÖNSTER, 2 a 3mm GLAS OCH 3-5cm AVSTÅND. LÄGENHETSPLAN: BV, 1TR, 3TR OCH 4TR. MEDELVÄRDE OCH SPRIDNING AV LJUDNIVÅSKILLNAD KORRIGERAD TILL REDUKTIONSTAL FÖR "NORMALRUM" MED 2 FÖNSTER 1,2x1,5m² OCH 10m² ABSORPTION.
 — LABORATORIEMÄTT REDUKTIONSTAL



10

10

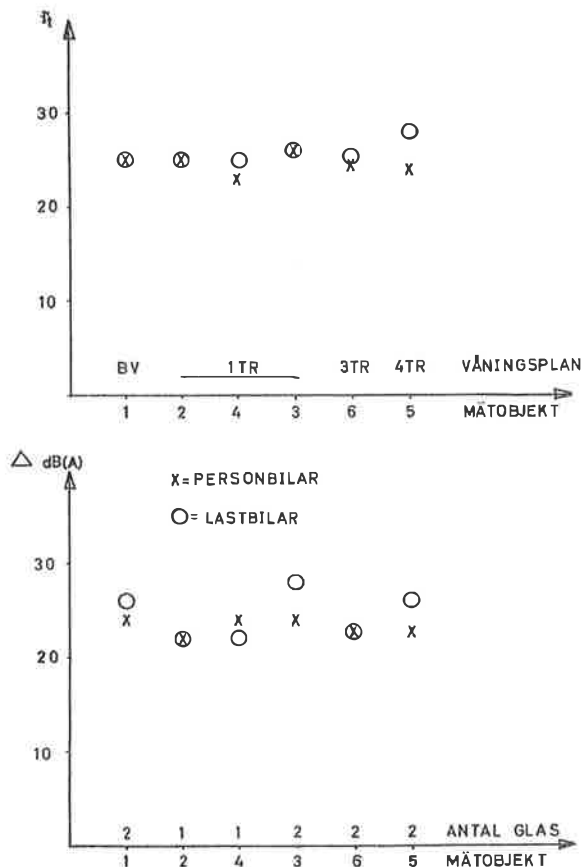
Nivåskillnad gata-gaturum uppmätt vid fordonspassager reducerat till reduktionstal för »normalrum» samt laboratoriemätt reduktionstal.

Difference in level street-room fronting street measured when vehicles pass and reduced to transmission loss for "normal rooms" compared to transmission loss measured in the laboratory.

11

Uppmätt nivåskillnad gata-gaturum i dB A och utvärderad som ett trafikisoleringsindex I'_t .

Recorded difference in level street-room fronting street in dB A and valued as a traffic insulation index I'_t .

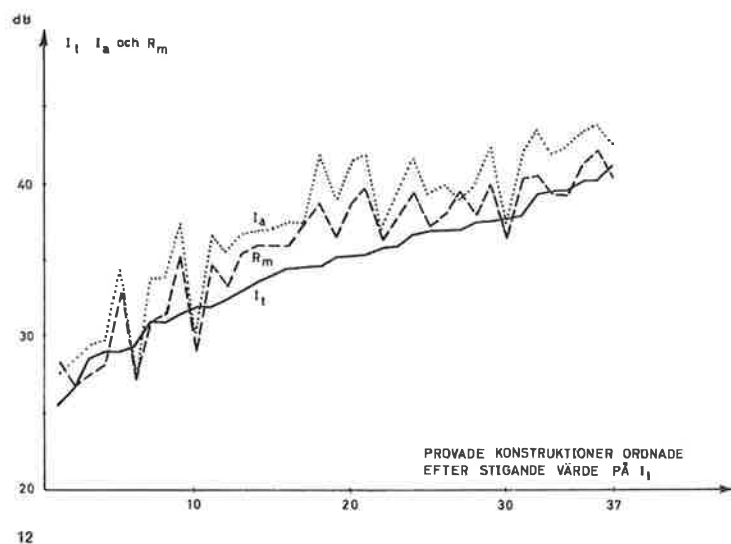


10 cm tjock karmabsorbent. Dessa har $I_t = 34$ dB respektive 41 dB.

Ett visst begrepp om vad förbättringen innebär från störningssynpunkt får vi, om vi ser på vilken ändring i dB som behövs för en fördubbling respektive en halvering av det mänskliga örats uppfattning av hörstyrkan. Den ändring som erfordras härför rör sig om cirka 8 dB och är beroende av bland annat ljudets frekvenssammansättning. I förhållande till det öppningsbara standardfönstret reduceras då störningarna av det modifierade öppningsbara fönstret till mindre än hälften och av det icke öppningsbara fönstret till mindre än en fjärdedel.

En invändning som kan göras mot laboratoriemätningar är att vi där har ett diffust ljudfält, medan vi i det praktiska fallet kan riskera att vissa infallsvinklar blir dominerande. Detta skulle framför allt gälla fönster högt över markplanet. Ju mer strykande ljudfall vi har (stor infallsvinkel i förhållande till normalen) desto sämre blir isoleringen teoretiskt. Mätningar enligt [4] på fönster med ljudfall med varierande infallsvinklar bekräftar teorierna. För den bullerkälla som ett fordon i rörelse utgör förändras hela tiden infallsvinkeln, och en viss medelvärdesbildning av isoleringen erhålls. Vid mätningar på fönster vid stadsgator [7] och i olika lägenhetsplan visar sig detta medelvärde enligt bild 10 tillräckligt väl överensstämma med det laboratoriemätta reduktionstalet för att det senare verkligen ska kunna användas för inbördes värdering av olika konstruktioner.

Det otätade tvåglasfönstret ger för övrigt inte bättre isolering än ett otätat englasfönster, som framgår av mätresultaten i bild 11. I denna jämförelse ser man heller ingen inverkan av fönstrets höjd över marken.



12

Värdering med I_a och R_m relativt värdering med I_t .Valuation with I_a and R_m compared with valuation with I_t .

Slutligen ställer vi frågan: »Skulle inte en värdering med den 'gamla' kravkurvan, uttryckt med isoleringsindex I_a , ge samma relativa värdering av konstruktionernas isolering mot trafikbuller?» Svaret på denna fråga ger bild 12 där trafikisoleringsindex I_t för konstruktionerna, ordnade efter stigande värde på I_t , jämförs med motsvarande isoleringsindex I_a . Som framgår av bilden är inte avvikelserna systematiska, och svaret på frågan är alltså nej. Som jämförelse har även inlagts det tidigare använda medelreduktions-talet R_m . Detta följer ganska väl I_a men ej I_t .

Litteratur

- [1] Fall, L och I, *Trafikbuller och fönsterisolering*. Examensarbete vid CTH 1964. Rapport A 518, Institutionen för byggnadsakustik.
- [2] Brandt, O, *Ljudisolering hos fönster och glaspazier*. Teknisk Tidskrift 1954.
- [3] Ingemansson, S, *Luft- och stegljudisolering – en sammanfattning av de viktigaste teorierna*. Rapport 1/66 från byggforskningen, Stockholm.
- [4] Eisenberg, S, *Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen*. Glastechnische Berichte, Heft 11, 1961

Glossary of words appearing in the illustrations

Fig. 1	referensfrekvens frekvens	reference frequency frequency
Fig. 2	glas	pane, glazing
Fig. 4	ingen absorbent varierande djup inlägg	no lining varying depth insert
Fig. 8	————— R för fönster med 2 x 4 mm glas på 8,5 cm avstånd. Tätat med V-list. 10 luftningshål.	R for windows with 2 x 4 mm panes 8.5 cm apart. Sealed with V-strip. 10 air holes.
	- - - - - R för fönster med 2 x 6 mm glas på 10 cm avstånd. 10 cm karmabsorbent i fast båge.	R for windows with 2 x 6 mm panes 10 cm apart. 10 cm frame lining. Fixed sashes.
 R för standardfönster med 2 x 2 mm glas på 3,5 cm avstånd. Inga speciella tätningssät- gärder.	R for standard windows with 2 x 2 mm panes 3.5 cm apart. No special sealing arrangement.
Fig. 10	- - - Mätningar i 4 lägenheter med tvåglas- fönster, 2 à 3 mm glas och 3-5 cm avstånd. Lägenhetsplan: Bv, 1 tr, 3 tr och 4 tr. Me- delvärde och spridning av ljudnivåskillnad korrigerad till reduktionstal för "normalrum" med 2 fönster $1,2 \times 1,5 \text{ m}^2$ och 10 m^2 . Absorp- tion.	Measurements recorded in 4 flats with double-glazed windows, 2-3 mm panes 3-5 cm apart. Floor level of flats: ground floor, 1st, 3rd and 4th floors. Mean value and deviation of difference in sound level corrected to transmission loss for "normal rooms" with 2 windows $1.2 \times 1.5 \text{ m}^2$ and 10 m^2 absorption.
	————— Laboratiemätt reduktionstal	Transmission loss measured in laboratory
Fig. 11	Bv 1 tr våningsplan mätobjekt personbilar lastbilar antal glas	ground floor 1st floor floor level object of measurement private cars lorries number of glazings
Fig. 12	Provade konstruktioner ordnade efter stigande värde på I_t .	Test constructions arranged in order of increase in I_t value.

Sound insulating window constructions

Most window constructions are based on a double-glazing system. An acoustic wall of this type has a very low transmission loss in the frequency range around the basic resonance of the double wall. It is determined by the surface weight of the panes and the width of the air space and generally lies below 250 Hz. Traffic noise has its highest sound pressure levels below this frequency. Even if we are weighing the demand for insulation dependent on frequency with some acoustic rating curve, for example one of the N-curves proposed by ISO, the result remains that the lack of insulation is greatest at the lower frequencies.

The fact that window constructions in general are not acoustically sealed between sash and frame, gives the greatest deterioration of insulation at high frequencies but has still most importance at the lower frequencies.

The greatest improvement in transmission loss of a double wall is achieved by increasing the surface weight of the partition walls, but then however, we will have the problem of the coincidence effect at pane thicknesses exceeding 4 mm. By using different glass thicknesses in the two partition walls this problem can be eliminated to a certain extent.

From a heat insulating point of view a space of 3 cm wide is the optimum. From a sound insulating point of view, a larger space is needed in order to bring the resonance below 100 Hz.

On the assumption, dictated by practical and economic reasons, that the air space should be no wider than 10 cm and the greatest glass thickness 8 mm, different combinations of panes were studied theoretically and practically in frames for fixed and tightly sealed panes. The influence of sound absorbing material on the frame was also tested.

Based on these results, different sealing arrangements were tested in an openable window. Apart from the fact that the distance between the panes was increased from the normal 3 - 5 cm to about 10 cm, the window used was of standard construction.

The insulation was weighed both with the grading curve which ISO is expected to recommend for sound insulation between dwellings, and with a special grading curve for traffic noise, which was developed as an examination project at CTH. An improvement of about 14 dB compared to normal windows was achieved (a raising of the grading curve for traffic noise).

By combining hermetically sealed panes for thermal insulation and a single piece of glass, good heat insulating qualities can be obtained together with somewhat improved sound insulation.

Provided that the frame absorbent is sufficiently thick, a valuable increase in the insulation can be achieved. This is of course of special interest for windows with fixed (non-openable) sashes.

For weighing the insulation dependent on frequency in, for example, a partition wall between two dwellings, we in Sweden have been using since 1960 a joint Scandinavian grading curve and have abandoned the average transmission loss \bar{R} in the frequency range 100 - 3 150 Hz formerly used. This new curve for frequency weighing, which, with all probability, will be recommended for international use by ISO, assumes a special frequency spectrum at the source of sound, characteristic of a mixture of speech, radio and television sound etc. Due to the fact that the traffic noise has a completely different frequency composition, the same method of weighing frequency cannot be used if traffic noise is the source of annoyance. The task was included in an examination project at CTH (ref. 1) of constructing a suitable grading curve for traffic noise, based on measurements made on traffic noise. The resulting curve is shown together with the Scandinavian curve for indoor insulation in fig. 1*. The greatest difference between the two curves is as expected found at the low frequencies, but we also get a different shape at high frequencies. We have used this special traffic noise grading curve in the tests covered by this report, which shows that a window's sound insulating capacity against traffic noise can be improved by relatively small measures. As a single number for the insulating capacity the \bar{R} value at 500 Hz of the grading curve, is used with a negative total deviation of 16 dB between the grading curve and the measured curve at the standardised measuring frequencies. This value, which we will call the insulating index against traffic noise, is indicated by I_t . In the same way we introduce the term, insulating index I_a for normal noise in dwellings. I_a denotes the value of the grading curve at 500 Hz expected to be recommended by ISO for indoor insulation. In view of the practical and economic limitations in window constructions, we have specified at the very start of this investigation the following limitations for window construction dimensioning:

1. No pane may have a thickness greater than 8 mm.
2. Maximum distance between panes is 10 cm.
3. Sashes and frames of types already on the market should be used.

In order to derive advantage from the extensive investigations into windows, which were carried out by Brandt (ref. 2), we have used the same surface dimensions of the panes in our tests.

*For figs. 1 - 12 see the Swedish version of the article on pp. 4 - 10 and glossary on p. 11.

Theoretically it is only possible to make a qualitative study of the influence of different parameters in the double wall constructions to which our normal windows can be referred. The theories (ref. 3) tell us that we must aim from the start at the maximum space of 10 cm mentioned in the directions in order to obtain the lowest resonance in the double wall near or below 100 Hz.

Fixed windows

It is not directly revealed in the theories, but we know from experience that a double wall, in the same manner as a single wall, has a much lower transmission loss around the coincidence frequencies of the part walls. This impairment becomes especially marked if both part walls have the same coincidence frequency. We must therefore displace these coincidence frequencies in relation to each other or place one of them above 3150 Hz. Proceeding from the theories and taking into account the shape of the grading curve, we have arrived at some combinations of pane thicknesses, which should be favourable. We have measured these combinations in a frame for fixed sashes, i.e. eliminating the risk for sound leakage between sash and frame. The result is shown in fig. 2 with its diagram and tables. The figure shows that there is little to be gained with different glass thicknesses. Very striking however, is the great gain when one changes from 3 mm to 4 mm glass. We then have an improvement of 4,5 dB.

Furthermore we know that sound absorbing material in the wall space can produce a considerably increased transmission loss. On the other hand very contradictory information exists on the effect of sound absorbing material on the frame of a double-glazed construction. Improvement, if any, is inevitably dependent on the thickness of the acoustical lining, i.e. the absorbing capacity at low frequencies. We have therefore repeated the tests shown in fig. 2 with a 10 cm thick acoustical lining on the frame. For all constructions this has meant an increase in I_t of between 2 and 4,5 dB as shown in fig. 3. The mutual relationship of the different combinations regarding I_t remains practically unchanged. Combinations with two 4 mm panes at a distance of 10 cm do still, regarding the amount of material used, give a favourable result. Further tests were therefore mainly concerned with this combination although 6 mm + 6 mm panes give the best insulation.

The next step was the study of the increase in insulation due to the thickness of the frame absorbent in the combination 4 mm + 4 mm panes. Fig. 4 shows that the increase when using acoustical lining on the frame in thicknesses of 2,5 cm and 5 cm, is negative in view of the unfavourable change in the shape of the curve. We first get an improvement of 4 dB, when using a thickness of 10 cm. Such a lining can be fairly easily built into a frame for fixed sashes, but is difficult to fit on an openable window.

A corresponding test was also carried out with the favourable combination of 6 mm + 6 mm panes at a distance of 10 cm. As shown in fig. 5, even a 2,5 cm thick layer of absorbent does in this combination give an increased I_t . This is mainly due to the fact that the high frequency coincidence deterioration, which is greater at 6 mm than at 4 mm panes, is neutralized. As expected we get the greater improvement when using 10 cm thick acoustical lining, which gives $I_t = 41$ dB against $I_t = 37,5$ dB for the equivalent construction, fitted with 4 mm panes. In some tests the distance between panes was increased from 10 cm to 20 cm. Only a very small improvement was gained. This must mean that the sound transmission at this distance via the frame is equal to the sound transmission via the air space. With a different frame construction it should be possible to get more favourable results.

Some other combinations of pane thicknesses, air spaces and acoustical linings than those specified above, were tested in frames for fixed sashes. They are however not included in this report.

Openable windows

Our tests on openable windows were carried out with a wide air space construction (8,5 cm) already on the market. The construction was, however, somewhat modified in order to fit the same pane dimensions as used during our tests with frames for fixed sashes. The pane distance of 8,5 cm was unchanged. Even if these windows are perfectly sealed, we have to calculate with somewhat lower values than those arrived at with the 10 cm distance in our test frame for fixed sashes.

We know that long narrow slots, in this case the slots between frame and sashes, give an extremely high sound leakage. Fig.6 shows the transmission loss for the pivot hung sash used during our tests, not sealed, sealed with a rectangular rubber strip and finally completely sealed with rubber strips and putty. As shown, there is a great deterioration in sound insulation due to leakage. During further tests on the possibilities of eliminating this leakage, we used mainly a V-shaped rubber weather-strip, which is already being used in some sound insulating door constructions.

In order to eliminate the risk of condensation on the inside of the outer pane, a space for fresh air ventilation is purposely left between the two sashes. Therefore we cannot easily seal the space between the outer sash and the frame in a construction of the type used during the tests. It does not have any lip for fixing an effective seal and further, such a seal would make ventilation between the panes impossible.

Should it, however, be possible to arrange ventilation in a different manner, the seal could be fitted between the sashes as shown in fig. 7. We make use of the known fact that a channel with a circular cross section gives considerably lower sound trans-

mission than a narrow rectangular slot with the same cross sectional area. The construction on the left of fig. 6 has 5 circular holes at the top and 5 at the bottom with a diameter of 5 mm. According to window specialists these 10 holes allow enough ventilation to avoid condensation. I_t and I_a are lowered by only 0,5 dB. With 22 holes at the top and 22 holes at the bottom the decrease is 2dB.

We have now arrived at a relatively simple modification of a standard window, which has considerably improved insulating properties against traffic noise. This construction does, however, have one disadvantage. The increased air space from the normal 3 to 8,5 cm, does reduce the heat insulating qualities. The question now arises, whether it would be economical to use the hermetically sealed heat insulating glass, which is available on the market. Due to the small distance between the panes, this glass has a high basic resonance frequency. Thus single heat insulating glass is unfavourable from the point of view of sound. Fig. 8 shows the curve of the transmission loss for heat insulating glass of this type consisting of two 4 mm panes glued to a 12 mm wide metal frame. I_t is only 25,5 dB. In combination with a 4 mm pane at a distance of 75 mm there is, however, a considerable increase. I_t is then 2,5 dB higher than I_t for two 4 mm panes at a distance of 85 mm. We have now attained a construction, which gives good insulation against heat, as well as good insulation against traffic noise. If the heat insulating glass and the 4 mm pane change places (which for reasons of strength was impossible in the test construction), the sound insulation remains unchanged. The holes for ventilation could then be omitted.

Results

In order to show what we have gained with our modifications, we have shown in fig. 9 the comparison with the transmission loss of one of the window constructions most commonly used in Sweden today. The reference we used was a standard construction with two 2 mm panes at a distance of 3,5 cm, without any sealing arrangements. The traffic noise index for this construction was $I_t = 20,5$ dB. We compare this construction with the slightly more expensive openable construction with two 4 mm panes at a distance of 8,5 cm, fitted with weather-strips, and the non-openable window with two 6 mm panes at a distance of 10 cm and with a 10 cm thick acoustical lining. These latter constructions have $I_t = 34$ dB resp. 41 dB.

We get some idea of what this improvement means, as regards annoyance, if we study what change is needed in dB, in order to halve or double the loudness of a noise. The level change necessary in dB is about 8 dB. (It may range from 6 to 10 dB, depending on the frequency composition of the sound, the absolute level etc). Compared to an openable standard window, the modified openable window more than halves the disturbance and the non-openable window reduces the disturbance to less than 25 %. One objection that can be made to the laboratory experiments is the fact that we in the

laboratory have a random incidence sound field, while we in practice may risk that certain angles of incidence will be predominant. This should apply especially to windows situated high above ground level. The more grazing sound incidence we have (large angle of incidence relative to the normal), the less the transmission loss will theoretically become. Measurements according to ref. 4 on windows with sound impinging with varying angles of incidence, confirm the theories. For the noise created by a moving vehicle, the angle of incidence changes continuously and the lowest sound pressure level difference measured may represent some average value for the sound insulation.

Measurements carried out on windows in city streets (ref. 5) on different floors show that, in accordance with fig. 10, the average value corresponds sufficiently well to the transmission loss arrived at in the laboratory. This implies that this latter figure can be used in order to judge the relationship of the different window constructions.

A double-glazed window, which has no sealing arrangements, does not, as shown in fig. 11, give better insulation than a single-glazed window without sealing arrangements. In this comparison we do not note any influence from the height of the windows above ground.

Finally we ask the question: "Should not a calculation using the "old" weighing curve, giving the insulation index I_a , result in the same relative grading of the insulating capability of the different constructions against traffic noise?" The answer to this question is given in fig. 12, where I_t arranged in rising numbers is compared with the insulation index I_a . As shown in the figure, there are no systematic relations. We have also plotted the average transmission loss \bar{R} , which was previously used. \bar{R} follows I_a quite well but not I_t .

Bibliography

1. Fall, Lisbeth and Ingemar: Trafikbuller och fönsterisolering. Examensarbete vid CTH, 1964. Rapport A 518, Institutionen för Byggnadsakustik.
2. Brandt, Ove: Ljudisolering hos fönster och glaspartier. Teknisk Tidskrift, nr 12. Stockholm 1954.
3. Ingemansson, Stig: Luft- och stegljudisolering - en sammanfattning av de viktigaste teorierna. Rapport 1:1966 från Byggeforskningen, Stockholm 1966.
4. Eisenberg, Sebrecht: Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen. Glastechnische Berichte, Heft 11/61.

APPENDIX

Compilation of the results of all tests made in the investigation

Compilation of the results of all tests made in the investigation

In the following tables 1 - 4, \bar{R} , I_a and I_t are given together with specifications of the window constructions.

In this appendix I_a and I_t are calculated according to the ISO R880 recommendation for calculating I_a which means:

- a) the mean unfavourable deviation, computed by dividing the sum of the unfavourable deviations by the total number of measuring frequencies, is greater than +1 but not more than +2 dB: or
- b) the mean unfavourable deviation is less than 2 dB and the maximum unfavourable deviation at any frequency does not exceed 8 dB for measurements in 1/3 octave bands.

Some of the test arrangements are shown in the figures 13 - 16.

TABLE 1

Test No ...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pane thickness mm	4	4	3+3	3+3	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	6+3
Air space cm	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10
Mineral wool on frame cm	-	-	-	10	-	2,5	5,0	10,0	17	-
Sealing	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Remarks	-	*1	-	-	-	-	-	-	-	-
\bar{R} dB	28	28	35	40	36	39	39	40	41	37
I_a dB	31	31	38	43	39	43	42	44	44	40
I_t dB	30	30	32	32	37	33	34	35	36	37

TABLE 2

Test No ...	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Pane thickness mm	6+3	8+3	8+3	6+6	6+6	6+6	6+6	4+4	4+4
Air space cm	10	10	10	10	10	10	10	20	20
Mineral wool on frame cm	10	-	10	-	2,5	5	10	-	10
Sealing	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Remarks	-	-	-	-	-	-	-	-	-
\bar{R} dB	42	37	41	36	39	39	40	40	40
I_a dB	46	41	45	40	43	43	44	39	43
I_t dB	38	38	40	38	40	41	41	37	40

TABLE 3

Test No ...	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Pane thickness mm	4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4
Air space cm	-	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Mineral wool on frame cm	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
Sealing	01	02	03	04	05	05	06	06	07	08
Remarks	-	-	-	-	-	-	-	*2	-	-
\bar{R} dB	27	28	33	36	37	40	32	31	33	36
I_a dB	29	29	37	37	37	43	35	34	36	38
I_t dB	28	31	31	35	34	37	34	33	32	34

TABLE 4

Test No ...	30	31	32	33	34	35	36
Pane thickness mm	4+4	4+4	4+4	4+4	HU	HU+4	HU+4
Air space cm	8,5	8,5	8,5	8,5	-	7,5	7,5
Mineral wool on frame cm	-	-	-	-	-	-	2,5
Sealing	08	08	08	09	07	08	08
Remarks	* 3	* 4	* 5	-	-	-	-
\bar{R} dB	36	36	35	29	28	38	38
I_a dB	38	37	37	32	30	41	41
I_t dB	36	34	34	32	26	39	39

Remarks to the tables

- * 1 The space for the acoustical lining on the frame covered (See figure 14)
- * 2 Different mounting of the V-shaped rubber strip $V \rightarrow \wedge$
- * 3 5 + 5 air holes, diameter 5 mm, in outer sash
- * 4 11 + 11 air holes, diameter 5 mm, in outer sash
- * 5 21 + 21 air holes, diameter 5 mm, in outer sash
- N Fixed panes (non-openable windows) completely sealed
- 0 Openable windows
- 01 One rubber strip between sash and frame
- 02 No sealing strip
- 03 One square sponge rubber strip between inner sash and frame
- 04 One V-rubber strip completed with putty between inner sash and frame
- 05 V-rubber strips between outer sash and frame and between inner sash and frame, both completed with putty
- 06 One V-rubber strip between inner sash and frame
- 07 Two V-rubber strips between inner sash and frame
- 08 One V-rubber strip between sashes and two between inner sash and frame
- 09 One square sponge rubber strip between inner sash and frame and one between outer and inner sash
- HU Hermetically sealed glass unit, 4 mm pane + 12 mm air + 4 mm pane

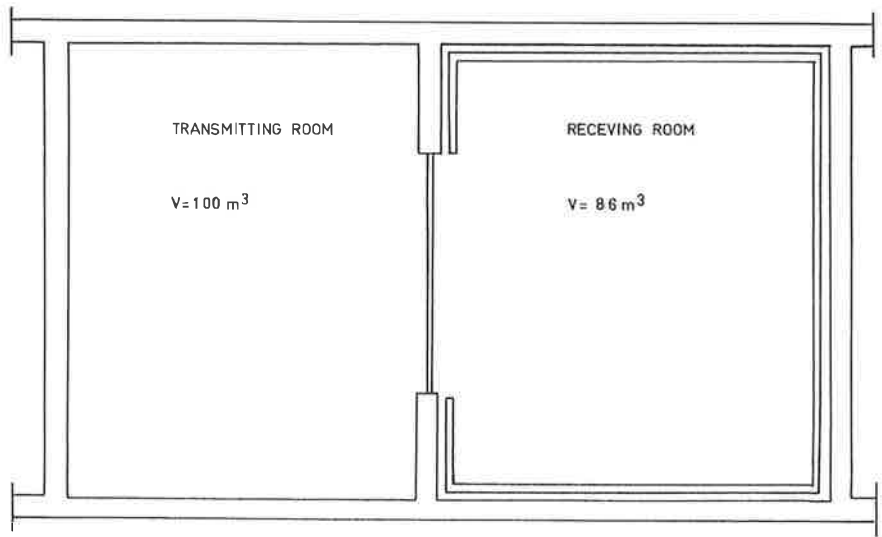


FIG. 13. "Two room arrangement" for the tests.

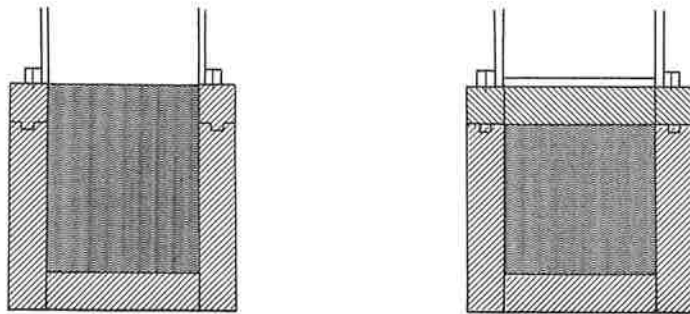


FIG. 14. Frame with and without acoustical lining for the tests on non-openable windows.

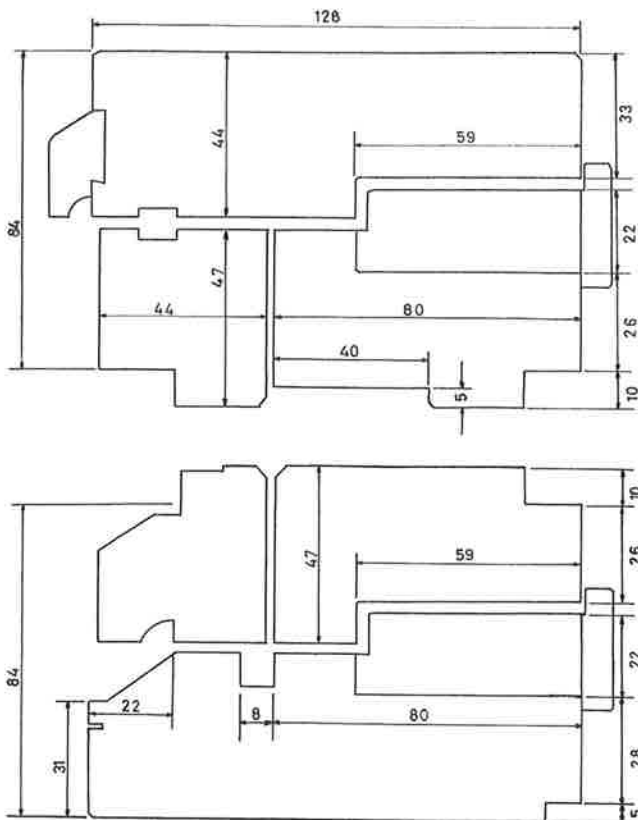


FIG. 15. Vertical section of openable window construction used for the tests.

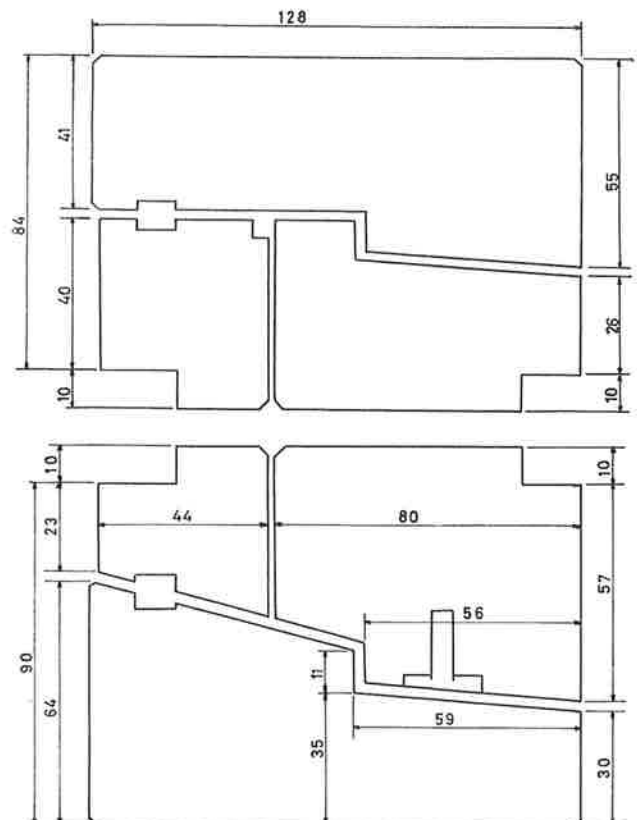


FIG. 16. Horizontal section of openable window construction used for the tests.