



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

R125:1985

Ljudklassning av fönster

Hans G Jonasson

Byggforskningsrådet

R125:1985

LJUDKLASSNING AV FÖNSTER

Hans G Jonasson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830281-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
Provningsanstalt, Borås.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R125:1985

ISBN 91-540-4474-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING	5
1.	INLEDNING	7
1.1	Allmän bakgrund och målsättning	7
1.2	Läget i Danmark	7
1.3	Läget i Sverige	8
1.4	Läget i Norge	10
1.5	Läget i Finland	10
2.	MÄTMETODER	12
2.1	Laboratoriemätningar	12
2.2	Fältmätningar	13
2.2.1	Trafikbuller som ljudkälla	14
2.2.2	Högtalare som ljudkälla	16
2.2.3	Allmänna problem med metoderna	18
3.	UTVÄRDERINGSMETODER	19
3.1	Vägt reduktionstal, R_w	19
3.2	Isoleringsindex mot luftljud, I_a	20
3.3	Ytterväggsdämpning, D_A	21
3.4	Övriga mätetal	22
4.	PRAKTISK LJUDISOLERING HOS FÖNSTER	23
4.1	Glastyp och glastjocklekar	23
4.2	Glasinfästning	24
4.3	Glasavstånd	25
4.4	Tätning karm - vägg	26
4.5	Tätning båge - båge och båge - karm	29
4.6	Transmission via karmen och bågen	30
4.7	Storlek	31
4.8	Placering i nischen	31
5.	NÅGRA MÄTNINGAR I FÄLT	33
5.1	Inledande kommentarer	33
5.2	Det praktiska utförandet	33
5.3	Fältmätning nr 1	35
5.3.1	Beskrivning av mätplats och mätningar	35
5.3.2	Resultat med kommentarer	36

5.4	Fältmätning nr 2	38
5.4.1	Beskrivning av mätplats och mätningar	38
5.4.2	Resultat med kommentarer	39
5.5	Fältmätning nr 3	41
5.5.1	Beskrivning av mätplats och mätningar	41
5.5.2	Resultat med kommentarer	42
5.6	Fältmätning nr 4	45
5.6.1	Beskrivning av mätplats och mätningar	45
5.6.2	Resultat med kommentarer	47
5.7	Fältmätning nr 5	49
5.7.1	Beskrivning av mätplats och mätningar	49
5.7.2	Resultat med kommentarer	50
6.	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	53
6.1	R_w eller $I_{a,lab}$	53
6.2	Spridning vid fältmätningar	53
6.3	Jämförelse mellan laboratorie- och fältvärden	54
6.4	Val av klassningsmetod	57
7.	FÖRSLAG TILL KLASSNING	62
8.	TILLKÄNNAGIVANDE	63
	LITTERATUR	64
	BILAGA 1	66
	Ljudisoleringssteori	

SAMMANFATTNING

Sedan många år tillbaka har vi haft ljudklassning av dörrar. En sådan börjar också komma på fönster. Erfarenhetsunderlaget för en sådan klassning är inte tillfredsställande. Sedan energikrisens början för drygt 10 år sedan har vi fått helt nya fönstertyper på den svenska marknaden. Samtidigt har nya måttetal för ljudisolering börjat vinna insteg. Förvirringen på detta område är för närvarande stor.

Målsättningen med föreliggande projekt har varit att undersöka vilken skillnad man kan påräkna mellan laboratorie- och fältmätta ljudisoleringsvärden samt att ta fram underlag för bedömning av vilket måttetal som är lämpligast att använda vid ljudklassning av fönster.

Fem olika byggnadsobjekt har undersökts i fält. Reduktionstalen för fönstrena har bestämts dels genom mätning med trafikbuller och dels genom mätning med högtalare som ljudkälla. Resultaten tyder på att högtalarmetoden med infallsvinkeln 45° ger bäst överensstämmelse med laboriemätta värden.

I fält uppmätta värden på vägt reduktionstal, R_w , är i genomsnitt 3 dB lägre än vad som erhållits vid laboriemätningar. Orsaken till denna skillnad har i vissa fall varit bristfällig tätning mellan karm och vägg. En del av skillnaderna beror dock sannolikt på att mätmetoderna i laboratorium och i fält är olika.

En analys över laboriemätta värden av R_w och $I_{a,lab}$ har visat att de bägge sammanfattningsvärdena i princip är likvärdiga för akustisk bedömning av moderna fönsterkonstruktioner.

R_w har jämförts med andra mätetal som bygger på A-vägning av vägtrafikbuller. En jämförelse med det i Norge använda begreppet ytterväggsdämpning, D_A gav med mycket hög korrelation följande samband

$$R_w = 6,86 + 0,97 D_A(N) \quad [n=49, r=0,97]$$

Uttryckt i skillnad i A-vägd ljudtrycksnivå ute och inne, ΔL_A , kan man med hjälp av detta uttryck och definitionen av $D_A(N)$ visa att, med vanliga värden på fönsterarea och rumsabsorption,

$$\Delta L_A = R_w + 1$$

Med ett något modernare spektrum än det som använts vid beräkningen av $D_A(N)$ erhöles istället

$$\Delta L_A = R_w + 3$$

R_w ovan avser i princip det fältmätta vägda reduktionstalet $R_{tr,w}$ eller $R_{45^\circ,w}$. Eftersom laboratoriemätta värden normalt är ca 3 dB högre innebär uttrycket att ΔL_A i fält numeriskt är ungefär lika med det laboratoriemätta R_w .

Slutsatsen av projektet är att R_w är både relativt och absolut sett lämpligt för ljudklassning av fönsterkonstruktioner. En klassning bör vidare följas av striktare krav på monteringen av fönstrena.

1. INLEDNING

1.1 Allmän bakgrund och målsättning

Samtliga nordiska länder har idag någon typ av klassning på dörrar. Norge och Danmark har även klassning på fönster. I Sverige finns det typgodkännanderegler för fönster som även tillåter klassning. Statens planverk har föreslagit klassindelning på fönster att införa i Svensk Byggnorm. Detta förslag stoppades dock av ekonomiska skäl av Finansdepartementet. Samtliga klassningsregler för såväl dörrar som fönster är baserade på laboratoriemätningar.

Beträffande dörrar finns det många års erfarenhet av hur dörrar uppför sig i fält och det finns också bestämda regler för vilken marginal man skall ha vid klassningen när man jämför med laboratoriemätningar. Något liknande erfarenhetsmaterial finns inte på fönstersidan. Till denna osäkerhet kommer att vi på senare år har övergått till en helt annan fönstertyp än vad vi hade tidigare, nämligen 3-glasfönster.

Föreliggande projekt har kommit till för att ta fram ett underlag för bedömning av sambandet mellan mätvärdet som uppnåtts i laboratorium och i fält. Resultatet skall kunna vara ett värdefullt underlag vid bedömning av hur olika klassgränser skall relateras till laboratoriemätta värden.

1.2 Läget i Danmark

Danmark har identiskt lydande standarder för ljudklassning av dörrar och fönster. Beteckningarna är Dansk Standard DS 1082 resp Dansk Standard DS 1084, som i senaste utgåvorna kom ut i juli resp september 1982. Bägge standarderna baseras på laboratoriemätningar i enlighet med ISO 140/III-1978 samt utvärdering enligt ISO 717-1982. Rekommenderade storlekar på

provobjekten är för dörrar 9M x 21M (M = 100 mm) samt för fönster 12M x 12M. Erhållna värden anges gälla för areaavvikelser upp till 50 resp 100 %.

Klassbeteckning som funktion av erhållet vägt reduktionstal i laboratorium, R_w , framgår av TABELL 1.1.

TABELL 1.1 Dansk ljudklassning av dörrar och fönster

Luftljudsisolering R_w	Klassbeteckning
$R_w \geq 27$ dB	25 dB - Dörr resp fönster
$R_w \geq 33$ dB	30 dB - Dörr resp fönster
$R_w \geq 38$ dB	35 dB - Dörr resp fönster
$R_w \geq 43$ dB	40 dB - Dörr resp fönster
$R_w \geq 48$ dB	45 dB - Dörr resp fönster
$R_w \geq 53$ dB	50 dB - Dörr resp fönster

1.3 Läget i Sverige

I Sverige är läget för närvarande kaotiskt. Mätning sker dock enligt SS 02 52 54 vilket svarar mot ISO 140. Härvid råder alltså ingen skillnad jämfört med läget i Danmark.

Dörrar klassas efter Svensk Standard SS 81 73 06 från september 1981. Enligt denna standard gäller klassindelning enligt TABELL 1.2.:

TABELL 1.2 Svensk ljudklassning av dörrar.

Ljudklass	Medelreduktionstal \bar{R}_{min} (i laboratorium)
25 dB	28 dB
30 dB	34 dB
35 dB	39 dB

När standarden antogs fanns det förslag om att vi istället för medelreduktionstal skulle använda oss av $I_{a,lab}$ -värde enligt SS 02 52 53. Skillnaden emellan detta $I_{a,lab}$ och R_w är den s k 8 dB-regeln för maximalt tillåten avvikelse ifrån referenskurvan vid ett enstaka 1/3-oktavband. Denna regel utfaller praktiskt taget aldrig för dörrar varför man i dessa sammanhang kan sätta likhetstecken mellan R_w och $I_{a,lab}$. Detta förslag avslogs med motiveringen att man ville ha samma klassindelning som i Danmark och Norge. Mindre än 1 år efteråt gick Danmark över till R_w . Som ett kompromissförslag infördes i den svenska standarden en rekommenderad översättning mellan medelreduktionstal och $I_{a,lab}$. Denna översättning som visas i TABELL 1.3 var ett resultat av ett ganska omfattande statistiskt material bestående av 100-tals mätningar på dörrar vid Statens provningsanstalt i Borås.

TABELL 1.3 Svensk översättning av \bar{R} till $I_{a,lab}$

Ljudklass	$I_{a,lab}$	\bar{R}	$I_{a,lab}$
25 dB	26 dB	28 dB	29 dB
30 dB	32 dB	34 dB	37 dB
35 dB	38 dB	39 dB	43 dB

Den vänstra tabellen avser ljudklassen hos en dörr insatt i byggnad och den högra klassgränsen vid mätning i laboratorium. Det är alltså den högra tabellen som kan jämföras med den danska ovan. Den enda klassgränsen som blir densamma är den för den svenska 35 dB-dörren. I Danmark får dock samma dörr ljudklassen 40 dB. Förvirringen är alltså fullständig. Beträffande fönster har planverket nyligen publicerat godkännanderegler för typgodkännande av fönster [1]. Enligt dessa regler finns det möjlighet att också få sina fönster godkända i vissa ljudklasser. Klassindelningen är härvid identisk med den danska i Dansk Standard DS 1084, dvs den är baserad på R_w och med

klassgränser som är 5 dB högre än vad man skulle förväntat sig vid jämförelse med den svenska dörrstandardens SS 81 73 06.

I Sverige finns det ett ganska utbrett missnöje med att redovisa fönsters ljudisolering i såväl R_w som $I_{a,lab}$. Det har föreslagits att man skulle införa någon typ av trafikbullerindex eller att istället ange ljudreduktionen i form av ΔL_A , dvs som differensen mellan A-vägd ljudtrycksnivå ute och inne. Detta har medfört att man på svenskt initiativ inom Nordtest startat ett projekt för standardisering av trafikbullerspektrum och beräkningsmetod för ΔL_A .

1.4 Läget i Norge

På dörrsidan har Norge exakt samma bestämmelser som i Sverige. Norsk Standard NS 3150 ifrån mars 1976 stämmer alltså med motsvarande Svenska Standard bortsett från att den svenska översättningen till $I_{a,lab}$ -värden saknas.

Beträffande fönster gäller den Norska Standarden NS 3240 från februari 1982. Denna är identisk med motsvarande danska standard bortsett från att man här använder sig av $I_{a,lab}$ istället för R_w . Såsom framgår av jämförelser i avsnitt 6.1 har denna skillnad mycket liten betydelse för moderna fönsterkonstruktioner.

1.5 Läget i Finland

På dörrsidan har Finland samma bestämmelser som i Sverige. När det gäller fönster finns ingen allmänt använd metod. Det finns dock en rekommendation, RT 41-10027, från 1978 som utarbetats av det finska standardiseringsorganet. Enligt denna kan fönster delas in i 4 klasser. Klassindelningen är liksom för dörrar baserad på medelreduktionstalet R i laboratorium.

TABELL 1.4 Finsk rekommendation till klassindelning
av fönster

Klass 1:	$\bar{R} \geq 40$ dB
Klass 2:	$\bar{R} \geq 35$ dB
Klass 3:	$\bar{R} \geq 25$ dB
Klass 4:	$\bar{R} < 25$ dB

2. MÄTMETODER

I detta kapitel behandlas endast det tekniska utförandet av mätningarna. Problem med monteringsvillkor och dylikt behandlas i följande kapitel.

2.1 Laboratoriemätningar

Samtliga laboratoriemätningar som utförs av etablerade laboratorier i Skandinavien sker enligt den internationella standarden ISO 140/III-1978. Detta innebär att fönstret monteras i en vägg mellan två mätrum. Mättrummen skall ha en minsta volym av 50 m³ och deras respektive volymer bör skilja sig åtminstone 10 %. Rummens väggar skall vara reflekterande så att ett diffust ljudfält uppnås, dvs ljudfördelningen i rummet blir jämn och ljudet faller in mot fönsterkonstruktionen under alla infallsvinklar. Under förutsättning att allt ljud som går ifrån det ena rummet till det andra går igenom den aktuella fönsterkonstruktionen definieras då reduktionstalet R som

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg (S/A) \text{ dB ...} \quad (2.1)$$

där

- L_1 är medelljudtrycksnivån i sändarrummet;
- L_2 är medelljudtrycksnivån i mottagarrummet;
- S är arean hos den fria provöppningen i vilken fönstret är monterat;
- A är den ekvivalenta absorptionsarean i mottagarrummet.

ISO-standarderna förutsätter att ljudtransmissionen genom skiljeväggen är försumbar. När det gäller fönster, och speciellt då bra sådana, är detta idealfall svårt att uppnå. Av praktiska skäl och p g a andra störningar av ljudfältet kan man inte tillåta sig hur tjocka skiljeväggar som helst. Man tvingas därför ofta acceptera en viss flanktransmission. De nödvändiga

korrektionsräkningarna utföres enligt Nordtestmetoden NT ACOU 013-1979. Reduktionstalet R för fönstret ges då av

$$R = R' - 10 \lg (1 - 10^{-0,1 (R'_{\max} - R')}) \quad (2.2)$$

där

R = korrigerat reduktionstal för provföremålet = redovisat resultat;

R' = mätt reduktionstal för provföremålet inkl flanktransmission;

R'_{\max} = övre gränsen för R' , dvs R' när fönsteröppningen täckts på ett sådant sätt att ljudtransmissionen genom denna är försumbar.

R'_{\max} bestäms ofta genom att man med fönsterkonstruktionen på plats täcker den på bägge sidor, först med ett ljudabsorberande material och sedan med en tunn täckskiva. Korrektionen ovan får göras så länge $R'_{\max} - R' \geq 6$ dB. Om $R'_{\max} - R' > 17$ dB är korrektion onödig. Om $R'_{\max} - R' < 6$ dB får inga korrektioner göras. Man skall då på något sätt markera att mätvärdena i stor utsträckning har påverkats av flanktransmission och därigenom ger ett minsta värde på konstruktionens reduktionstal.

Mätningarna måste åtminstone utföras inom frekvensområdet 100-3150 Hz. Utsträcker man detta område t ex till 50-5000 Hz blir mätnoggrannheten vid de tillkommande frekvenserna sämre.

2.2 Fältmätningar

Fältmätningar utföres antingen med trafikbuller som ljudkälla eller också med hjälp av en högtalare. Trafikbuller har den fördelen att ljudet infaller från flera olika infallsvinklar. Vid högtalarmätningar kan endast en vinkel åt gången användas. Trafikbuller har dock den stora nackdelen att nivån inomhus inte blir

tillräckligt hög. Vi får mycket bakgrundsstörningar. Normalt är problemet värst vid de högsta mätfrekvenserna. Här är det ofta omöjligt att genomföra en korrekt mätning.

2.2.1 Trafikbuller som ljudkälla

Vid trafikbullermätning blir reduktionstalet, R_{tr} , enligt ISO 140/V

$$R_{tr} = L_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \lg (S/A) \text{ dB} \quad (2.3)$$

där

$L_{eq,1}$ är den ekvivalenta ljudtrycksnivån 2 m framför provföremålet dvs reflexerna i fasaden och provföremålet är inkluderade;

$L_{eq,2}$ är den ekvivalenta ljudtrycksnivån i mottagar-rummet medelvärdesbildad över rummet;

S och A är desamma som vid laboratoriemätningar.

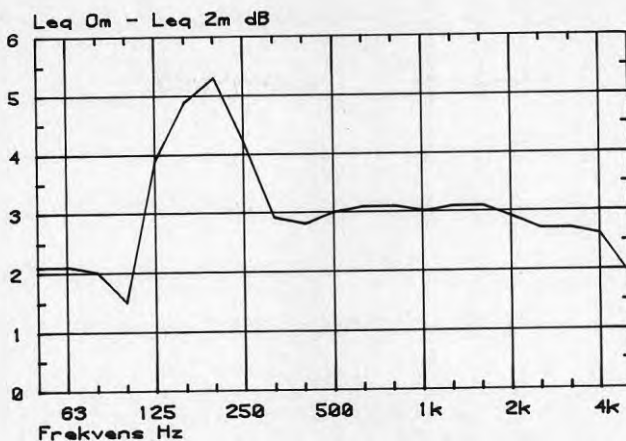
Ekvation (2.3) förutsätter att ljudtrycksnivån vid alla frekvenser 2 m framför fasaden är 3 dB högre än den nivå som skulle ha erhållits om fasaden inte funnits där. Om man istället mäter i liv med fasaden får man teoretiskt en höjning av ljudtrycksnivån i förhållande till fritt fält på 6 dB. Sker mätningen vid fasaden blir alltså uttrycket för reduktionstalet istället

$$R_{tr} = L'_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \lg (S/A) - 3 \text{ dB} \quad (2.4)$$

där

$L'_{eq,1}$ är den ekvivalenta ljudtrycksnivån i liv med fasaden och provföremålet.

Skillnaden mellan fasadmätning och mätning 2 m framför fasaden illustreras av ett exempel i FIGUR 2.1.



FIGUR 2.1 Skillnad mellan mikrofon dikt an mot fasad och mikrofon 2 m framför fasad. Ekvivalentnivån under 5 min för tät stadstrafik. Mikrofönstorlek 13 mm.

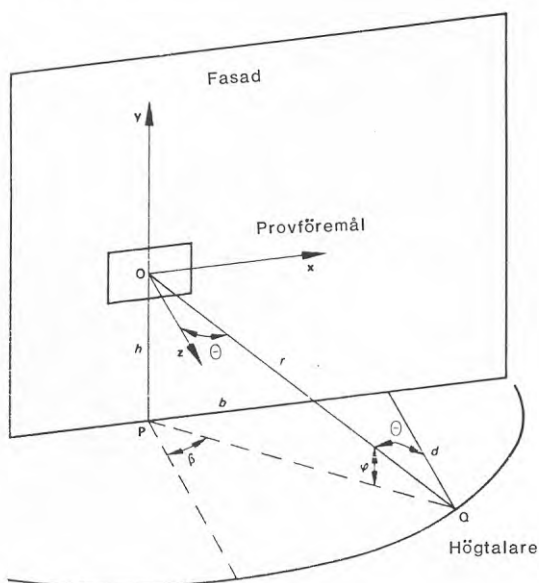
Vi ser här avvikelser ifrån 3 dB-regeln under 315 Hz och över 2 kHz. Detta beror på att de teoretiska förutsättningarna bakom 3 dB-regeln inte är uppfyllda. Vid 2 m mätavstånd skall då våglängden vara mycket mindre än 2 m. Detta gäller inte för de låga frekvenserna, t ex är våglängden för 100 Hz 3,4 m. Avvikelsen här beror alltså på mätfel i 2 m-metoden. Omvänt gäller för fasadmätningen att våglängden skall vara mycket större än mätavståndet. Detta är inte sant för de högsta frekvenserna eftersom mikrofonens storlek, i det aktuella fallet är diametern 13 mm, gör att mätavståndet aldrig blir 0. Avvikelsen vid de högsta frekvenserna beror alltså på mätfel vid dikt an mätningen.

Eftersom ljudstörningarna inomhus normalt domineras av låga frekvenser, se t ex [2], är det lämpligast att använda sig av mätningar dikt an mot fasaden och tillämpa ekv (2.4).

ISOs formel för reduktionstalet enligt ekv (2.3) är egentligen inte korrekt, se [3]. Ljudfältet är ju inte diffust vid trafikbuller. Om vi liknar trafiken med en linjekälla och trafikströmmens elevationsvinkel till fönstret är φ , se FIGUR 2.2, blir, då huset är parallellt med vägen,

$$R = L'_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \lg \left(\frac{2}{\pi} \cos \varphi \right) + 10 \lg (S/A) \quad (2.5)$$

Detta uttryck stämmer med ekv (2.4) då $\varphi = 42,5^\circ$. I markplanet då $\varphi = 0$ ger ekv (2.5) 1 dB högre värden än ISO.



FIGUR 2.2 Geometrin vid högtalarmätningar

2.2.2 Högtalare som ljudkälla

Sker mätning med högtalare definieras reduktionstalet som en funktion av högtalaraxelns vinkel, θ , mot fönsternormalen. Vi får då

$$R_{\theta} = L_1 - L_2 + 10 \lg (4 S \cos \theta / A) \text{ dB} \quad (2.6)$$

där

"
 L_1 är medelljudtrycksnivån omedelbart framför
 provföremålet men utan reflexerna ifrån detta;

Med beteckningar enligt FIGUR 2.2 gäller för vinkeln
 θ att

$$\cos \theta = d / (h^2 + d^2 + b^2)^{1/2} \quad (2.7)$$

Problemet med de bågge metoderna ovan är att de knappast kan ge samma resultat som en laboratoriemätning eftersom förutsättningarna beträffande ljudinfall är helt olika. Enligt [4] ger trafikbullermetoden ganska god överensstämmelse. Denna slutsats är dock baserad på modellmätningar med vägbanan i plan med fönstret. Eftersom många fältmätningar gett anmärkningsvärt låga värden på ljudisoleringen i stadsmiljö kan man dock misstänka att överensstämmelsen med laboratoriemätningar är mindre god vid hög elevationsvinkel, φ . Högtalarmetoden anses ge bäst överensstämmelse någonstans mellan 45 och 60° infallsvinkel. Den vanligaste rekommendationen är att mäta vid 45° [5]. I [5] uppges dock också att högtalarmetoden normalt ger lägre värden än laboratoriemätningar.

Ett problem med högtalarmetoden är att på ett korrekt sätt bestämma L_1 ", dvs medelljudtrycksnivån omedelbart framför provföremålet men utan reflexerna från detta. Det bästa sättet är här, liksom vid trafikbullermetoden, sannolikt att mäta dikt an mot fönstret och sedan dra ifrån 6 dB för att få det oreflekterande värdet. En svårighet är här att fönstret ofta är placerat i en nisch. Ljudtrycksnivån kan då variera från punkt till punkt på fönsterytan och medelvärdesbildningen över ytan blir då problematisk (se t ex [6]).

2.2.3 Allmänna problem med metoderna

Som framgått av diskussionen ovan finns det många problem kvar med mätmetoderna även om vi har en ISO-standard. Denna säger ju heller inte någonting om eventuella jämförelser mellan laboratorie- och fältmätningar. I ett försök att avhjälpa bristerna i ISO-metoden startar Nordtest 1986 ett projekt om mätning av fönsters ljudisolering i fält.

Såväl ekv (2.4) som (2.6) förutsätter att all ljudtransmission sker genom fönstret. Så är dock inte alltid fallet i praktiken. Om vi definierar fasaden (fas) som vägg (v) + fönster (f) gäller med index enligt parenteserna att

$$R_{fas} = R_f + 10 \lg (S_{fas}/S_f) + 10 \log (1 + (S_v/S_f) \cdot 10^{-(R_f - R_v)/10}) \quad (2.8)$$

där R och S betecknar reduktionstal resp area. Är väggen oändligt bra erhålles

$$R_{fas} = R_f + 10 \lg (S_{fas}/S_f) \quad (2.9)$$

dvs fasadens reduktionstal beror bara på fönstrets reduktionstal samt förhållandet mellan total fasadarean och fönsterarean. För att (2.9) skall gälla med rimlig noggrannhet som är bättre än 0,5 dB gäller att

$$\left(\frac{S_{fasad}}{S_f} - 1\right) \cdot 10^{-(R_v - R_f)/10} < 0,1 \quad (2.10)$$

Sättes fönsterarean S_f till 25 % av fasadarean S_f blir slutresultatet

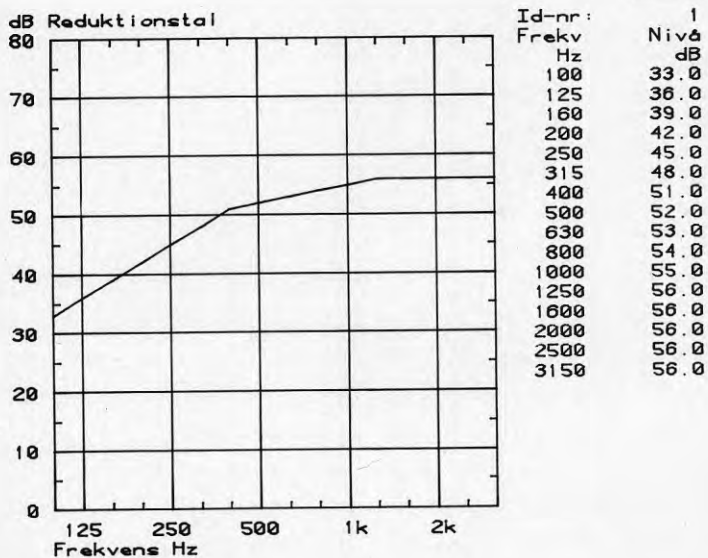
$$(R_v - R_f) \geq 15 \quad (2.11)$$

dvs ytterväggens reduktionstal skall vara 15 dB bättre än fönstrets.

3. UTVÄRDERINGSMETODER

3.1 Vägt reduktionstal, R_w

Den officiella svenska standarden är sedan 1983 SS-ISO 717/III. Enligt denna beräknas utgående ifrån reduktionstalskurvan för de 16 1/3-oktavbanden 100-3150 Hz sammanfattningsvärdet vägt reduktionstal som för fönster har beteckningarna R_w för laboratoriemätningar, $R_{tr,w}$ för trafikbullermätt reduktionstal samt $R_{\theta,w}$ för högtalarmätningar i fält. För att kunna beräkna sammanfattningsvärdet utgår man ifrån den i FIGUR 3.1 återgivna referenskurvan.



FIGUR 3.1 Referenskurva för beräkning av R_w och I_a .

Denna är identisk med den kurva som används för beräkning av I_a -värden, se vidare 3.2. För att beräkna det vägda reduktionstalet skall referenskurvan flyttas i steg om 1 dB mot den uppmätta kurvan till dess att den ogynnsamma medelavvikelsen, beräknad genom att dividera summan av de ogynnsamma avvikelserna med antalet mätfrekvenser, dvs 16, är så stor som möjligt men inte större än 2,0 dB. En ogynnsam avvikelse vid en speciell frekvens inträffar när resultatet av mätningarna är mindre än referensvärdet. Endast ogynnsamma avvikelser beaktas. Mätvärdena som man utgår ifrån skall helst vara angivna med en decimal. I den händelse att den maximala ogynnsamma avvikelsen är större än 8 dB skall detta anges speciellt.

Danmark är för närvarande det enda landet i Norden som konsekvent tillämpar R_w . I Sverige används fortfarande i stor utsträckning I_a eftersom detta sammanfattningsvärde fortfarande används i svensk byggnorm.

3.2 Isoleringsindex mot luftljud, I_a

Svensk Byggnorm tillämpar alltså fortfarande I_a . Hur I_a beräknas framgår av den numera indragna svenska standarden SS 02 52 53. I_a beräknas på samma sätt som R_w med det undantaget att den sk 8 dB-regeln tillämpas och att mätvärdena avrundas till hela dB före beräkningen. Detta innebär att man inte tillåter att någon enstaka ogynnsam avvikelse får överskrida 8 dB. För konstruktioner med rimligt jämna reduktionstalskurvor blir därför I_a och R_w lika. Är kurvorna mycket ojämna händer det dock i vissa fall att I_a -värdet blir lägre. På de olika avrundningsreglerna för I_a och R_w kan det även någon gång hända att I_a blir 1 dB högre än R_w .

Egentligen fanns I_a -värdet enbart för fältmätningar. Formellt sett kunde man inte använda sig av I_a -värden vid laboriemätningar. Den svenska standarden innehöll därför det nationella uttrycket $I_{a,lab}$. Strikt betraktat är det alltså $I_{a,lab}$ som är ekvivalent med R_w bortsett ifrån 8 dB-regeln. I_a svarar mot vägt reduktionstal i byggnad, R'_w . Det skall härvid också observeras att I_a och R'_w alltid sätter provföremålets area = 10 m² om den verkliga arean är mindre än 10 m². $I_{a,lab}$ och R_w skall alltid refereras till den verkliga skiljearean S.

3.3 Ytterväggsdämpning D_A

I Norge har man sedan några år [7] även använt sig av begreppet ytterväggsdämpning, D_A , definierat som

$$D_A = - 10 \lg \sum 10^{(L_{ui} - R_i)/10} \quad (3.1)$$

där

i = index för 1/3-oktavband från 100-3150 Hz

R_i = laboriemätt reduktionstal

L_{ui} = relativt A-vägt spektrum för vägtrafikbuller i tätbebyggelse (normaliserat till 0 dBA).

Med hjälp av (2.3) ser man att D_A helt enkelt är skillnaden (ΔL_A) mellan utenvån (2 m framför fasaden) och innenvån då $10 \lg (S/A) = 0$. Vi får alltså i det verkliga fallet med ytarean S och ekvivalenta absorptionsarean A att

$$\Delta L_A = D_A - 10 \lg (S/A) \quad (3.2)$$

Om vi som ett typiskt modernt exempel sätter in $S = 2$ och $A = 10 \text{ m}^2$ ger (3.2)

$$\Delta L_A = D_A + 7 \quad (3.3)$$

I tabell 3.1 återges det ca 10 år gamla norska spektrat. Där finns också med ett utvidgat och helt nytt spektrum som är medelvärde av 10 mätningar på 10 olika platser i Göteborg under oktober månad 1985. I fortsättningen kommer det norska D_A att betecknas $D_A(N)$ och ett alternativt D_A beräknat för frekvensområdet 50-5000 Hz med det utvidgade spektrat att betecknas $D_A(SP)$. I de fall $D_A(SP)$ endast kunnat beräknas för området 100-3150 Hz betecknas det $D_A'(SP)$.

TABELL 3.1 Relativa A-vägda vägtrafikbullerspektra

Mittfrekvens 1/3-oktavband	Enligt [7] N	SP
50 Hz		-26 dB
63 Hz		-25 dB
80 Hz		-24 dB
100 Hz	-20 dB	-23 dB
125 Hz	-19 dB	-22 dB
160 Hz	-18 dB	-20 dB
200 Hz	-16 dB	-18 dB
250 Hz	-14 dB	-16 dB
315 Hz	-13 dB	-15 dB
400 Hz	-12 dB	-14 dB
500 Hz	-11 dB	-13 dB
630 Hz	-10 dB	-11 dB
800 Hz	-9 dB	-9 dB
1000 Hz	-9 dB	-9 dB
1250 Hz	-9 dB	-9 dB
1600 Hz	-10 dB	-10 dB
2000 Hz	-12 dB	-11 dB
2500 Hz	-14 dB	-12 dB
3150 Hz	-16 dB	-14 dB
4000 Hz		-16 dB
5000 Hz		-18 dB

3.4 Övriga mätetal

I Sverige har också tidvis använts en form av trafikbullerindex I_L eller I_{CN} istället för I_a vid bedömning av fasader, se t ex [8] och [9]. Trots att detta index är ganska logiskt eftersom det i högre utsträckning än vad I_a gör beaktar de låga frekvenserna som ofta avgör bullerstörningarna inomhus har det inte fått någon större spridning i Sverige. ΔL_A , alltså i princip samma som D_A i 3.3, har använts mera. Se t ex [10].

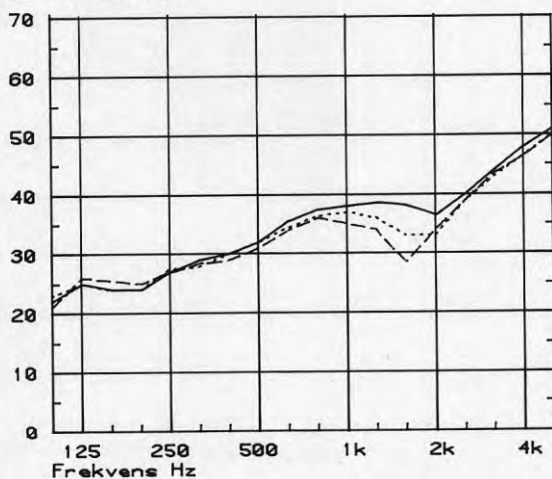
4. PRAKTISK LJUDISOLERING HOS FÖNSTER

Beträffande ljudisoleringsteori hänvisas till [11]-[13]. För att underlätta för den ambitiösa läsaren finns [13] återgiven i BILAGA 1. I det följande görs ett försök att utgående ifrån olika delelement hos ett fönster förklara vad som är viktigt och varför reduktionstalskurvan ser ut som den gör.

4.1 Glastyp och glastjocklek

Glas är normalt ett trevligt och homogent material som inte ger upphov till några akustiska överraskningar. Lamineras glaset kan det dock inträffa att glasets förlustfaktor och böjstyvhet, och därigenom dess akustiska egenskaper, varierar med temperaturen. ett exempel, som är hämtat från [14], visas i FIGUR 4.1.

dB Reduktionstal



FIGUR 4.1

Reduktionstalets beroende på temperaturen för en laminerad glaskiva. Ca 4 mm glas + 1,2 mm laminat + ca 4 mm glas. (Exempel från [14]).

— 30 °C
 19 °C
 - - - - 10 °C

Kurvan i 4.1 visar också hur reduktionstalskurvan får en dal vid koincidensfrekvensen f_c , som är den frekvens för vilken den påtryckta luftvågen överensstämmer med böjvågen i glaset, och där därför ljudgenomgången blir extra stor. För normalt homogent glas gäller att

$$f_c = 13/h \quad (4.1)$$

där

h = glasets tjocklek (m). Man kan också använda uttrycket

$$f_c = 1,84 \cdot 10^4 \sqrt{m/B} \quad (4.2)$$

där

m = massan per areaenhet hos glaset

B = böjstyvheten.

Det som händer i FIGUR 4.1 då temperaturen stiger är att laminatet blir mjukare. Böjstyvheten blir då mindre varför koincidensfrekvensen stiger. Samtidigt ökar dämpningen varför dalen blir mindre utpräglad.

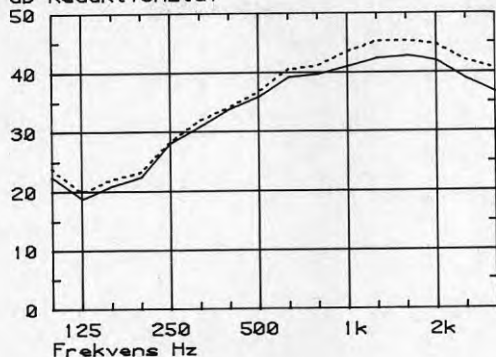
I andra avseenden har en ökad glastjocklek alltid positiva effekter eftersom den för ljudisolering så viktiga massan ökar. För ett enkelglas under koincidensfrekvensen gäller t ex att reduktionstalet stiger med 6 dB/fördubbling av massan.

4.2 Glasingfästning

I glas får vi mycket små förluster eftersom den inre dämpningen är så liten. I praktiken bestäms förlustfaktorn, η , av hur glaset är infäst i bågen. Som exempel kan nämnas att fritt hängande glas kan ha $\eta = 0,001$ medan en normal siffra för en ruta i ett modernt fönster är $\eta = 0,03$. Skillnaden i reduktionstal mellan dessa bägge fall blir, över f_c , ca $10 \lg 30$, dvs 15 dB!

I FIGUR 4.2 visas ett exempel på en modern isolerruta, 6 mm glas + 6 mm luft + 5 mm glas + 15 mm luft + 4 mm glas, som monterats dels enligt normal svensk praxis, dvs fastklämd med gummilister, och dels inbäddad i kitt, den normala monteringen vid provningar i Väst-tyskland. Vi ser här att kitt ger bättre dämpning och

dB Reduktionstal



FIGUR 4.2

Ljudisoleringen hos en isolerruta bestående av 6 mm glas + 6 mm luft + 5 mm glas + 15 mm luft + 4 mm glas.

— fastspänd med gummilister, $R_w = 37,0$ dB

..... inbäddad med kitt, $R_w = 39$ dB

högre reduktionstal även en bra bit under koincidensfrekvensen som för 6 mm glas är ca 2200 Hz enligt (4.1). Om kittet åldras och hårdnar förändras också dess akustiska egenskaper.

4.3 Glasavstånd

Glasavståndet är en viktig parameter eftersom det, vid givna glastjocklekar, avgör var grundresonansfrekvensen, f_0 , hamnar. Grundresonansen är det fenomen som inträffar då kopplingen mellan glasskivorna via luftgapets luftfjäder är störst. Ju större luftavstånd och ju tyngre skivor desto mjukare blir luftfjädern och desto lägre kommer f_0 . Vid f_0 blir reduktionstalet ofta lågt medan det över f_0 ofta blir betydligt högre än vad det skulle blivit för motsvarande konstruktion med mycket små luftgap. Fönstret uppträder då som en dubbelkonstruktion. Grundresonansfrekvensen, f_0 , kan beräknas som

$$f_0 = 88 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad (4.3)$$

där

m_1, m_2 = massan per areaenhet för de bägge glas-skivorna (kg/m^2)

d = luftgapet (m)

I ett 3-glasfönster får man två grundresonansfrekvenser. Normalt är det dock bara den lägsta som är av intresse. Genom att i (4.3) sätta in det största luftgapet och som en av m_1, m_2 sätta in summan av massorna per areaenhet för de två skivor som omsluter det minsta luftgapet får man ett gott närmevärde på den lägsta grundresonansfrekvensen.

Enligt [15] gäller för många fönster det enkla förhållandet att reduktionstalet stiger som $10 \lg(d)$, dvs att det ökar för alla frekvenser, med 3 dB varje gång luftgapet fördubblas. I [15] dras också den slutsatsen att om man tar bort den mittersta rutan i ett treglasfönster påverkas knappast reduktionstalet. Detta beror på att det mindre "största" luftgapet i ett 3-glasfönster jämfört med tvåglasfönstret har en sådan negativ effekt att fördelen med ökad massa i form av ytterligare ett glas neutraliseras.

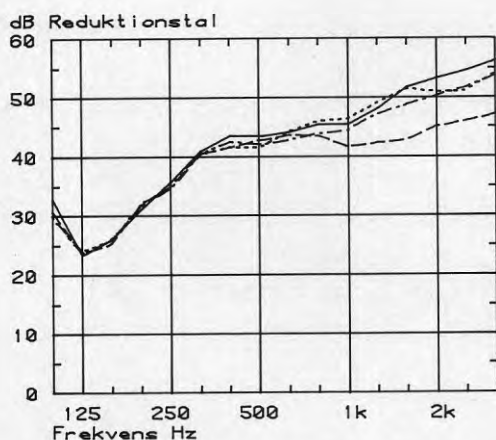
Många moderna fönster har idag f_0 vid 125 eller 160 Hz varför dessa frekvenser ofta dominerar inomhus. Ett fint exempel visas i FIGUR 5.3.

4.4 Tätning karm - vägg

Det är viktigt att fönstret monteras riktigt i väggen. För att belysa problemen med täthet mellan karm och vägg har vi utfört ett antal väldefinierade fönstermätningar på samma fönsterkonstruktion med olika monteringsätt. Fönstret var ett kopplat 3-glasfönster bestående av isolerruta, 3 mm glas + 12 mm luft + 3 mm glas, 68 mm mineralullsfyllt mellanrum + 3 mm glas.

För att ytterligare höja ljudisoleringen och reproducerbarheten hos mätningarna tejpades fönstret mellan karm och båge på bägge sidor. Eftersom fönstret har mycket hög ljudisolering, $R_w = 45$ dB, blir effekterna som visas större än vad som skulle vara fallet med mera normala konstruktioner.

I FIGUR 4.3 visas några olika bra tätningalternativ. Vi ser att den tätning som normalt används vid laboratoriemätningar, dvs drevning + plastilina, är bäst.



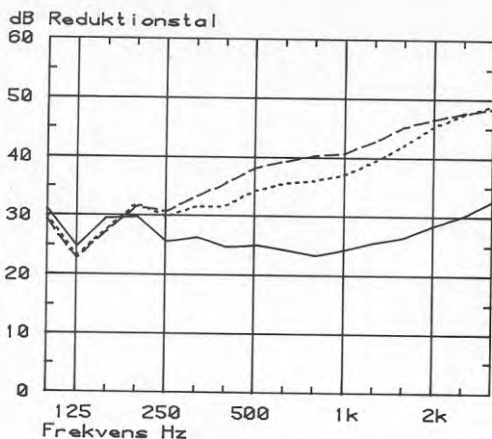
FIGUR 4.3

Olika tätning mellan karm och provöppning

- Drevning + plastilina på bägge sidor, $R_w = 45$ dB
- drevning + silikon på bägge sidor, $R_w = 45$ dB
- polyuretan, $R_w = 43$ dB
- .-.- drevning + silikon på en sida, $R_w = 44$ dB

Detta beror på att plastilina förutom att det tätar bra även är tungt. Polyuretan är ca 10 dB sämre vid höga frekvenser även om skillnaden i R_w bara blir 2 dB.

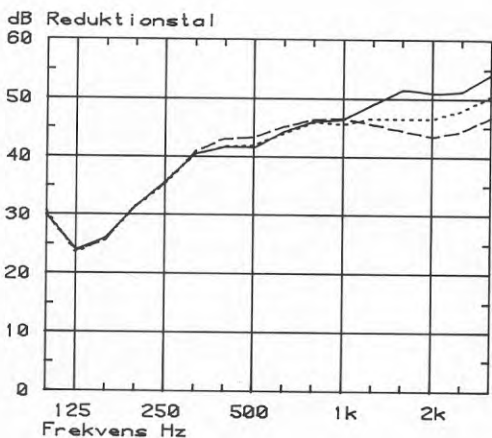
I FIGUR 4.4 - 4.6 visas vad som händer när man sätter på foder på fönstret. FIGUR 4.4 visar att förbättringen blir stor när vi endast har drevning i utgångsläget. Resultatet blir emellertid helt annorlunda om vi har bra tätning i utgångsläget. Fodret försämrar då ljudisoleringen!



FIGUR 4.4

Effekten av foder

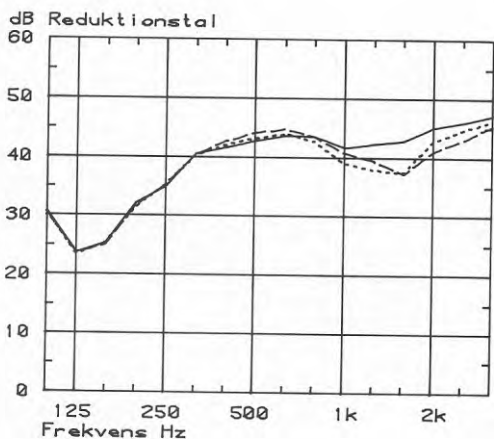
- enbart drevning med mineralull,
 $R_w = 27$ dB
- drevning + foder på en sida,
 $R_w = 38$ dB
- drevning + foder på bägge sidor,
 $R_w = 41$ dB



FIGUR 4.5

Effekten av foder

- drevning med mineralull + silikon på bägge sidor,
 $R_w = 45$ dB
- som (—) med foder på en sida,
 $R_w = 44$ dB
- som (—) med foder på bägge sidor,
 $R_w = 44$ dB



FIGUR 4.6

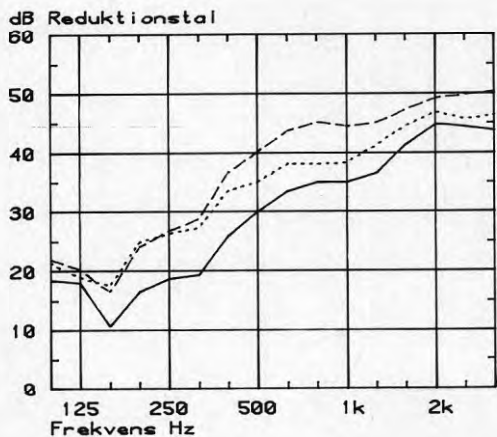
Effekten av foder

- polyuretanutmätning,
 $R = 43$ dB
- som (—) + foder på en sida,
 $R_w = 41$ dB
- som (—) + foder på bägge sidor,
 $R_w = 41$ dB

4.5 Tätning båge - båge och båge - karm

Ett väl tätat fönster skall i princip vara lufttätt. Detta gäller både mellan båge och karm och, för kopp-lade fönster, mellan bågarna. För att undvika kondens krävs en viss ventilation för luftmellanrummet mellan bågarna. Denna uppnås ofta genom att lämna ett antal öppningar i tätningslisten mellan bågarna. Såsom fram-går av ett av exemplena nedan försämras då ljudiso-leringen. Försämringen är dock ganska måttlig.

I FIGUR 4.7 illustreras betydelsen av den s k damm-filterlisten mellan bågarna i ett modernt kopplat 3-glas-fönster. Förbättringen är här inte mindre än 6 dB för R_w . En extra tätningslist mellan karm och båge förbättrar ljudisoleringen avsevärt vid högre frekvenser även om den i det här speciella fallet inte påverkat $I_{a,lab}$ eller R_w .

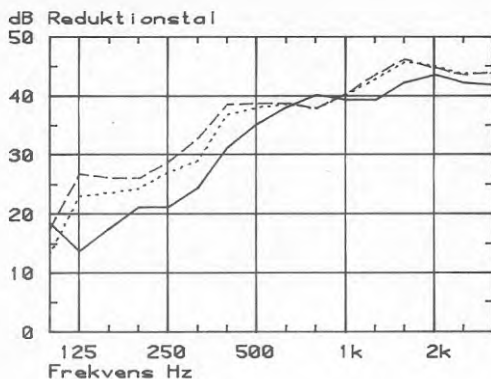


FIGUR 4.7

Isolerruta (3+12+3) +
37 mm luft + 3 mm glas

- utan dammfilterlist, $R_w = 31$ dB
- med dammfilterlist, $R_w = 37$ dB
- som (.....) + en extra tätningslist båge - karm, $R_w = 37$ dB.

I FIGUR 4.8 visas vilken effekt ventilationsöppningarna i dammfilterlisten kan ha. Försämringen är i det visade fallet 2 dB.



FIGUR 4.8

Isolerruta (4+9+5) +
42 mm luft + 4 mm glas

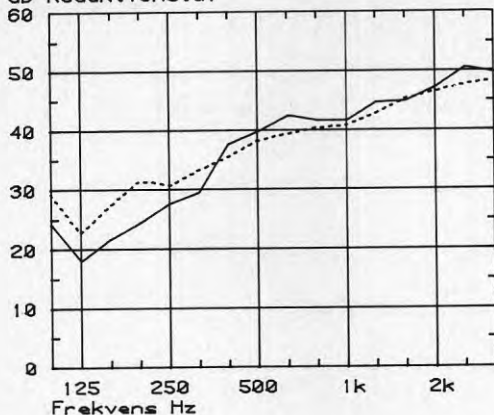
- utan dammfilterlist, $R_w = 35$ dB
- med dammfilterlist + 6 ventilationsöppningar, $R_w = 38$ dB
- som (...) utan ventilationsöppningar, $R_w = 40$ dB

4.6 Transmission via karmen och bågen

Ett fönsters ljudisolering bestäms av den svagaste länken i ljudtransmissionskedjan. Denna är ofta läckage eller för stor koppling mellan glasrutorna via den befintliga luftfjädern. För bra fönster där $R_w = 40$ dB eller mer kommer dock en ny transmissionsväg in i bilden, nämligen karmen och bågen. I FIGUR 4.9 visas ett exempel där reduktionstalet över 500 Hz ej förbättrats nämnvärt trots att såväl läckage som koppling via luftfjädern i huvudsak eliminerats genom tejpling resp mineralull i den stora luftspalten. Orsaken till detta är just transmissionen via ruta - karm - ruta

För ett normalt träfönster gäller att det är mycket svårt att överskrida gränsen $R_w = 45$ dB utan att dela karmen.

dB Reduktionstal



FIGUR 4.9

Fönster, isolerruta
(3+12+3) + 62 mm luft
+ 3 mm glas tejpat

— normalt, $R_w = 41$ dB

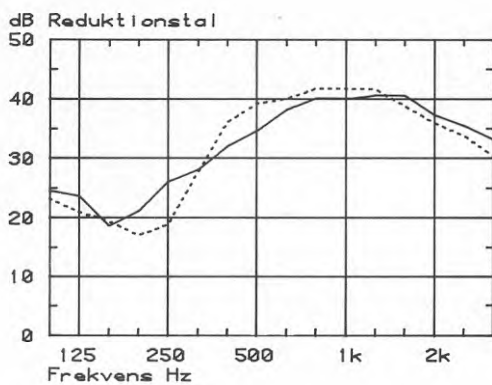
..... 62 mm utrymme
fyllt med mineralull, $R_w = 45$ dB

4.7 Storlek

Ett fönsters reduktionstal varierar något med arean. För närmare detaljer hänvisas till [16]. Resultaten stämmer bra med teoretiska beräkningar enligt BILAGA 1. Sammanfattningsvis gäller att en halvering eller fördubbling av arean sällan påverkar R_w mer än 3 dB. Normalt ger minskad area ett högre reduktionstal. Undantag är mycket bra fönster då karmtransmissionen dominerar eller otäta fönster. Den relativa karm- resp läckagearean ökar med minskad fönsterarea varför resultatet i dessa fall blir tvärtom.

4.8 Placering i nischen

En yttervägg är normalt mycket tjockare än ett fönster. Detta innebär att fönstret i praktiken är monterat i en nisch. Beroende på nischens djup och var i nischen fönstret placeras erhålls olika resultat. I FIGUR 4.10 visas ett exempel från en laboriemätning. Vi ser att skillnaden mellan olika placeringar kan bli stor. Ofta blir reduktionstalet lägst med placering mitt i nischen.



FIGUR 4.10

Isolerruta, 6 mm glas +
6 mm luft + 5 mm glas +
15 mm luft + 4 mm glas.

— Monterad 130 mm
från kanten av en
400 mm djup nisch.
 $R_w = 35$ dB.

..... Monterad vid kan-
ten av nischen
ovan. $R_w = 33$ dB.

5. NÅGRA MÄTNINGAR I FÄLT

5.1 Inledande kommentarer

Såsom framgått av beskrivningen av fältmätningss-
metoderna i 2.2 är det inte problemfritt att mäta
fönsters ljudisolering i fält. Olika metoder ger olika
resultat och kopplingen till laboratoriemätta värden
är osäker. Avsikten i detta projekt var till att börja
med att samtliga mätningar skulle utföras på exakt
samma sätt. De faktiska omständigheterna gjorde det
dock nödvändigt att använda två olika metoder. Detta
medför vissa osäkerheter vid jämförelser men ger å
andra sidan värdefulla erfarenheter inför framtiden.
Bl a har detta projekt initierat ett Nordtest-projekt
om mätning av fönsters ljudisolering i fält. Nordtest-
projektet planeras genomföras under loppet av 1986.

5.2 Det praktiska utförandet

Mätningarna har utförts med bägge de i 2.2 beskrivna
metoderna. I första hand har trafikbullermetoden en-
ligt 2.2.1 använts. Denna metod har dock kompletterats
med högtalarmetoden enligt 2.2.2 där så har varit möj-
ligt och önskvärt beroende på otillräckliga trafik-
bullernivåer inomhus.

Mikrofonerna har varit 13 mm tryckmikrofoner. Dessa
ger rakast frekvensgång såväl inomhus, där ljudfältet
är diffust, som utomhus, där ljudet infaller nästan
parallellt med membranet, som med monteringen nedan
var vinkelrätt mot fasaden.

Utomhusmikrofonen var vid samtliga mätningar infälld i
en ca 1 m² stor och 12 mm tjock träplatta. Detta
arrangemang minskar mikrofonmembranets avstånd till
den reflekterande ytan och möjliggör korrekta mät-
ningar ända upp till 5 kHz. Utemikrofonen var försedd
med vindskydd. Vid trafikbullermätningarna placerades

utemikrofonen på fasaden ovanför eller vid sidan om det aktuella fönstret. Vid högtalarmätningar bestämdes den infallande ljudvägens styrka genom mätning i 1-3 positioner på det aktuella fasadpartiet. Det är här önskvärt att medelvärdesbilda över flera positioner (se [6]). Vinkeln till det aktuella fasadpartiets mittpunktsnormal var 45° och högtalaren var varje gång placerad på marken.

Inomhusmikrofonen roterade ett varv på 16-32 s under mätningarna.

Mätningarna utfördes med hjälp av 1/3-oktavbands realtidsanalysator (Brüel & Kjaer 2131) och dator (Hewlett Packard 2136) med diverse styrenheter och multiplexer (Norwegian Electronics). För att undvika överstyrning mättes vid trafikbullermätningarna med A-vägning både ute och inne. Inomhusnivån förstärktes med hjälp av multiplexerns förstärkare ca 26 dB. Utomhusmikrofonen var dessutom 10 dB okänsligare än inomhusmikrofonen. Analysatorn kunde då ha samma inställning när multiplexern snabbt kopplade mellan utomhus- och inomhusmikrofonen. Först mättes ekvivalentnivån med en mikrofon under 125 ms. Därefter kopplades om till den andra mikrofonen under lika lång tid osv. På g a transienter i multiplexern var det nödvändigt att lägga in en fördröjning på ca 150 ms vid varje omkoppling. På detta sätt erhöles drygt 2 sampel ute och inne varje sekund.

Varje mätning med trafikbuller pågick ca 10 minuter. Datorn skrev ut ute- och inneekvivalentnivåer varje minut. Varje minutintervall kunde sedan väljas bort, t ex p g a bakgrundsbullerstörningar, innan den slutliga ekvivalentnivån ute och inne beräknades. Slutresultatet lagrades på flexskiva. Samplingsförfarandet har kontrollerats ett flertal gånger och skillnaden jämfört med kontinuerlig mätning ute och inne är mindre än 0,5 dB.

Efterklangstiden mättes med samma utrustning kompletterad med en datorstyrd högtalare. 50 efterklangskurvor registrerades och efter ensemblemedelvärdesbildning beräknades efterklangstiderna som lagrades på samma skiva som ekvivalentnivåerna.

Ett beräkningsprogram hämtade sedan upp mätvärdena och beräknade reduktionstalen.

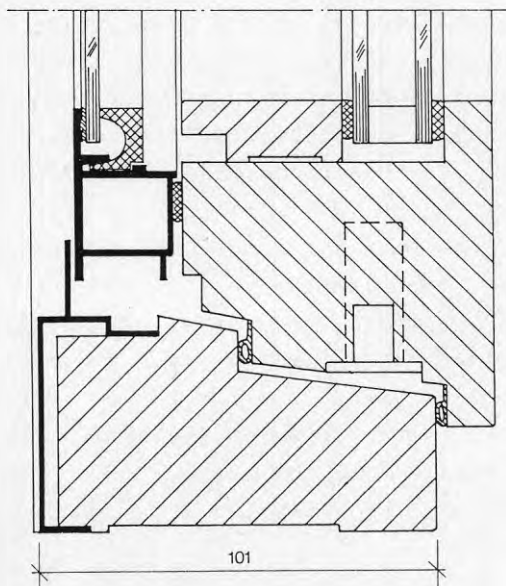
Vid vissa mätningar tätades med kraftig tejp mellan karm och båge för att lokalisera eventuella ljudläckage denna väg.

5.3 Fältmätning nr 1

5.3.1 Beskrivning av mätplats och mätningar

Mätplats: Kontorshus i Göteborg.

Fönstertyp: Kopplat 3-glas enligt FIGUR 5.1.



FIGUR 5.1

Fönstertyp vid fältmätning nr 1.

3 mm glas +
12 mm luft +
3 mm glas +
35 mm luft +
3 mm glas +

Fönsterarea: 2 fönster, M10 x M11, eller M10 x M11 + M5 x M11, dvs 2,6 resp 1,6 m².

Antal fönster: 20 st eller 2 per rum

Fasadarea: 6,7 - 8,6 m²

Fasadtyp: Plåt (1/2 stens tegel) + 20 mm luft + 120 mm mineralull + 200 mm betong

Rumsvolym: 25,8 m³.

Elevationsvinkel: Ca 45° för närmaste vägbanan

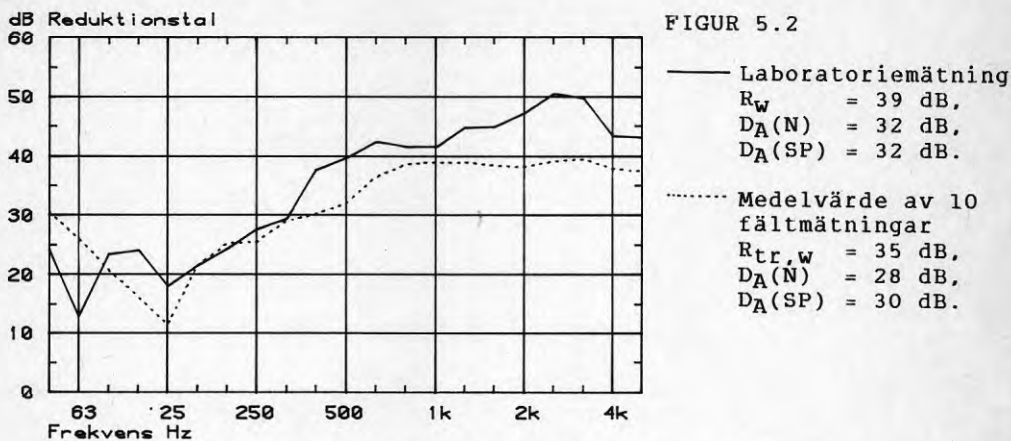
Fasadriktning: 8 rum // trafikleden, 2 rum | trafikleden

Mätmetod: Trafikbuller

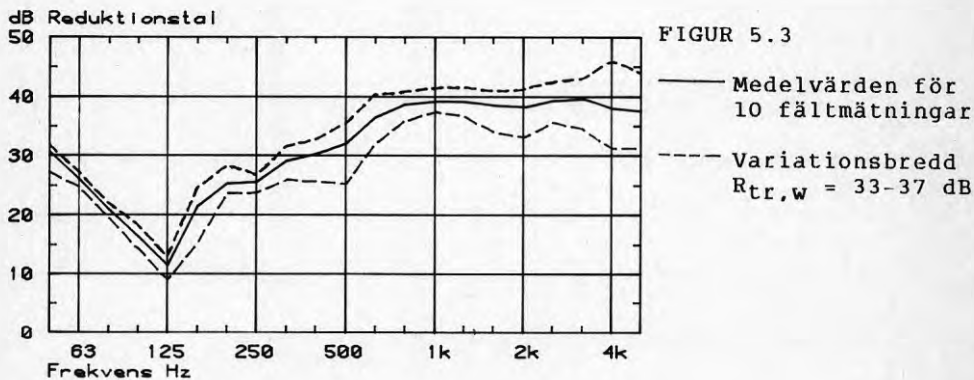
Mätförhållandena var perfekta. Huset var klart för inflyttning men ännu ej möblerat. Det var mycket tyst inne sedan ventilationsdonen tejpats över. Trots detta var trafikbullernivån inomhus ej tillräckligt hög för korrekta mätningar vid höga frekvenser. Störningarna var störst över 2 kHz. Fönstrena var till synes perfekt monterade med silikontätning och utan foder. Fasadens ljudisolering bedömes vara tillräckligt mycket bättre än fönstrets för att inte signifikant påverka resultatet.

5.3.2 Resultat med kommentarer

I FIGUR 5.2 redovisas medelvärden av de 10 mätningarna tillsammans med en laboratoriemätning av exakt samma (samma tillverkare) fönsterkonstruktion. Vi ser att fältmätningarna ligger klart lägre utom inom ett snävt frekvensområde runt 200 Hz.



Eftersom bakgrundsstörningar i huvudsak påverkat de högsta frekvenserna som inte direkt påverkar sammantagningsvärdena R_w , $D_A(N)$ och $D_A(SP)$ tyder mycket på att det är skillnaden i mätmetod som ger ca 4 dB lägre värden i fält.



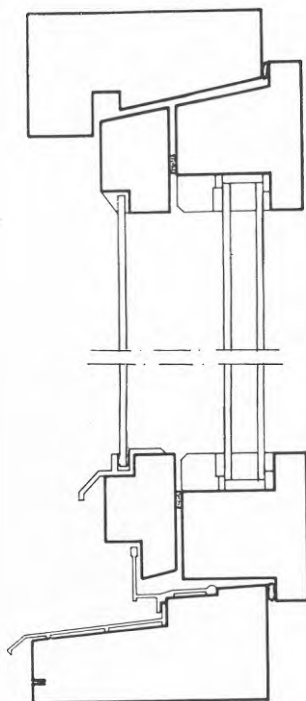
I FIGUR 5.3 visas variationsbredden i fältmätningarna. Även om den kan närma sig 10 dB för ett enstaka frekvensband är den faktiskt bara 4 dB (33-37 dB) för $R_{tr,w}$. Motsvarande standardavvikelse för $R_{tr,w}$ blir 1,3 dB.

5.4 Fältmätning nr 2

5.4.1 Beskrivning av mätplats och mätningar

Mätplats: Bostadshus, Jönköping

Fönstertyp: Kopplat 3-glas enligt FIGUR 5.4.



FIGUR 5.4

Fönstertyp vid fältmätning nr 1.

3 mm glas +
12 mm luft +
3 mm glas +
40 mm luft +
3 mm glas

Fönsterarea: 1-2 fönster, M9 x M13, dvs 1,17 resp
2,34 m²

Antal fönster: 7 st, 3 rum med 1 st och 2 rum med
2 st. 4 fönster mättes dessutom i tejpat utförande

Fasadtyp: 120 mm tegel + 15 mm luft + 45 mm mineralull + 9 mm gips + 95 mm mineralull + 13 mm gips

Rumsvolym: 30,24 m³ för 2 fönster och 24,7 m³
för 1 fönster.

Elevations-
vinkel: 30°-60°

Fasadriktning: 4 rum // trafikleden, 1 rum | trafik-
leden

Mätmetod: Trafikbuller

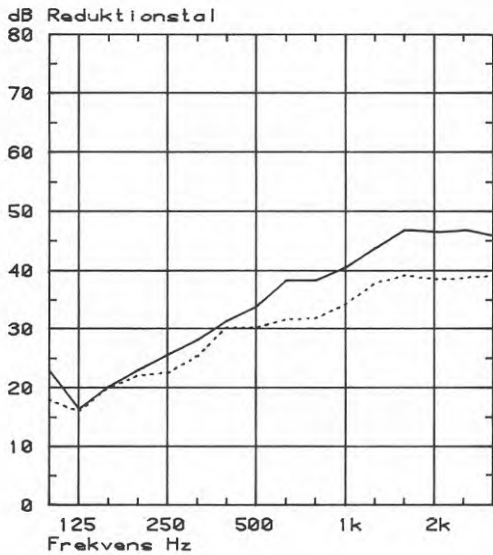
Mätförhållandena var även här mycket goda. Huset var klart för inflyttning men ännu ej möblerat. Det var mycket tyst inne sedan ventilationsdonen tejpats över. Bakgrundsnyvån var av allt att döma tillräckligt låg vid samtliga mätningar. Fönstrena var tätade med polyuretan mellan karm och vägg. Såsom framgår av FIGUR 4.3 är denna tätning akustiskt klart underlägsen den normala laboratiemätningen med plastilina. Fasaden är svårbedömd. Den har sannolikt ej påverkat det uppmätta reduktionstalet annat än möjligtvis under 200 Hz.

Eftersom vi var något osäkra huruvida fönstrenas tätningsslistor fungerade tejpade vi tre mätobjekt, 2 mellan karm och båge och 1 mellan bågarerna. Tejpningen påverkade inte i något fall uppmätt reduktionstal beträffande $R_{tr,w}$. Medelreduktionstalet ökade som mest 0,6 dB. Eftersom skillnaden var så liten har dessa 3 exakta mätningar betraktats såsom 3 fristående mätningar med något bättre tätning. Medelvärdesbildningen har alltså gjorts på 8 mätningar.

5.4.2 Resultat med kommentarer

I FIGUR 5.5 redovisas medelvärdet av de 8 fältmätningarna tillsammans med en laboratiemätning av exakt samma (samma tillverkare) fönsterkonstruktion.

Överensstämmelsen är ganska god upp t o m 400 Hz var-
 efter fältmätningarna ger klart lägre värden. De lägre
 högfrekvensvärdena beror, åtminstone delvis, på den
 mindre effektiva polyuretantätningen mellan karm och
 vägg.

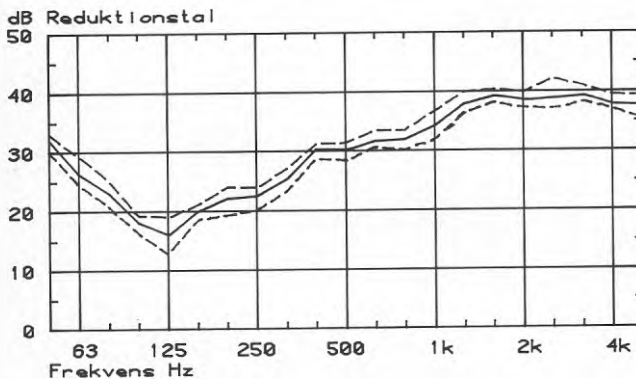


FIGUR 5.5

— Laboratiemätning
 $R_w = 37$ dB,
 $D_A(N) = 30$ dB,
 $D_A'(SP) = 32$ dB.

..... Medelvärde av 8
 fältmätningar
 $R_{tr,w} = 34$ dB,
 $D_A(N) = 28$ dB,
 $D_A'(SP) = 30$ dB.

I FIGUR 5.6 visas variationsbredden för fältmät-
 ningarna. Spridningen är som synes liten. Skillnaden i
 såväl R som $R_{tr,w}$ är högst 1 dB. Standardavvikelsen
 för $R_{tr,w} = 0,5$ dB.



FIGUR 5.6

— Medelvärde av 8
 fältmätningar.

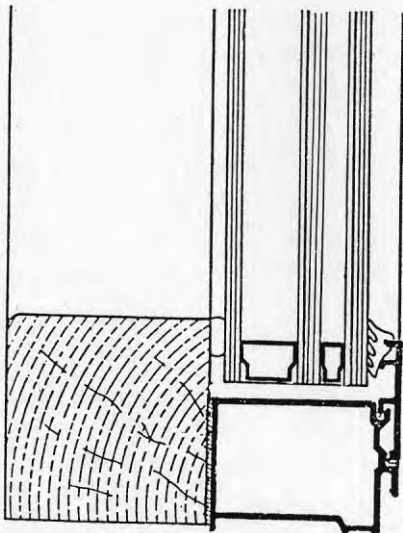
--- Variationsbredd,
 $R_{tr,w} = 33-34$ dB

5.5 Fältmätning nr 3

5.5.1 Beskrivning av mätplats och mätningar

Mätplats: Kontor i Göteborg

Fönstertyp: "Ljudruta" enligt FIGUR 5.7.



FIGUR 5.7

Fönstertyp vid fältmätning nr 3.

6 mm glas +
 6 mm luft +
 5 mm glas +
 15 mm luft +
 4 mm glas

Öppningsbart och ej
 öppningsbart.

Fönsterarea: 4 fönster, M9 x M12, dvs 4,32 m².

Vid högtalarmätningarna mättes
 fönstrena 2 och 2

Antal fönster: 12 st eller 4 per rum av vilka 1 var
 öppningsbart

Fasadarea: 9,5 m²

Fasadtyp: Korrugerad plåt + luft + 9 mm gips +
 210 mm mineralull + 2 x 13 mm gips.

Rumsvolym: 32,7 m³ och 36,6 m³ samt 67,9 m³.

Elevations-
vinkel: 0°

Fasadriktning: I Huvudsak | trafikleden

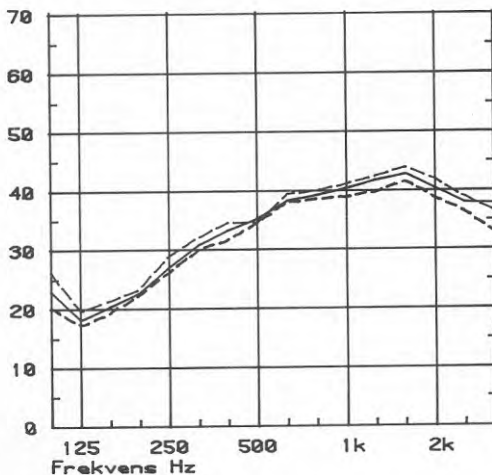
Mätmetod: Trafikbuller och högtalare

Huset var inflyttat och några år gammalt. Bakgrunds-
nivån tillät inte korrekta mätningar vid höga frekven-
ser med trafikbuller som ljudkälla. Fasaden var "arki-
tektioniskt" utformad med många nischer av olika form.
Det finns därför stor risk för att speciella reflek-
tions- och diffraktionsfenomen påverkat ljudfältet vid
fasaden. Ett rums 4 fönster var parvis vinklade åt
olika håll och åtskilda av mindre fasadutsprång. Hög-
talmätningarna kunde därför utföras på 2 fönster i
taget. Trafikbullret däremot exponerade samtliga
fönster samtidigt.

5.5.2 Resultat med kommentarer

I FIGUR 5.8 visas först medelvärdet och variations-
bredd för 5 laboratoriemätningar på "ljudrutor". Som
synes är spridningen utomordentligt liten.

dB Reduktionstal



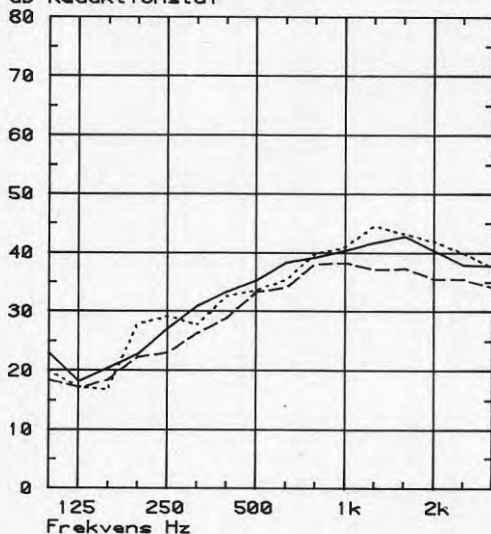
FIGUR 5.8

— Medelvärde av 5
laboratiemätningar

--- Variationsbredd

I FIGUR 5.9 jämförs de olika mätmetoderna. Överensstämmelsen mellan laboratorie- och högtalarmätningarna är här mycket god. Trafikbullermätningarnas låga värden kan, åtminstone delvis, förklaras av bakgrundsstörningar. Under 100 Hz blir bilden dock helt annorlunda. Såsom framgår av jämförelse mellan FIGUR 5.10 och 5.11 blir skillnaden mellan högtalarmetoden och trafikbullermetoden 10-20 dB. En förklaring kan vara den komplicerade fasadformen och att mätningen av ljudtrycksnivån dikt an mot fasaden endast utfördes med en mikrofonposition. Olika interferenser kan då, speciellt för högtalarmetoden, ha gett en sned ljudfördelning framför fasaden.

dB Reduktionstal



FIGUR 5.9

— Medelvärde, 5 lab-mätningar

$$R_w = 37 \text{ dB,}$$

$$D_A(N) = 31 \text{ dB,}$$

$$D_A'(SP) = 33 \text{ dB.}$$

- - - Medelvärde av 3 fältmätningar på 12 fönster, trafikbuller

$$R_{tr,w} = 34 \text{ dB,}$$

$$D_A(N) = 29 \text{ dB,}$$

$$D_A'(SP) = 31 \text{ dB.}$$

..... Medelvärde av 6 fältmätningar på 12 fönster, högtalare

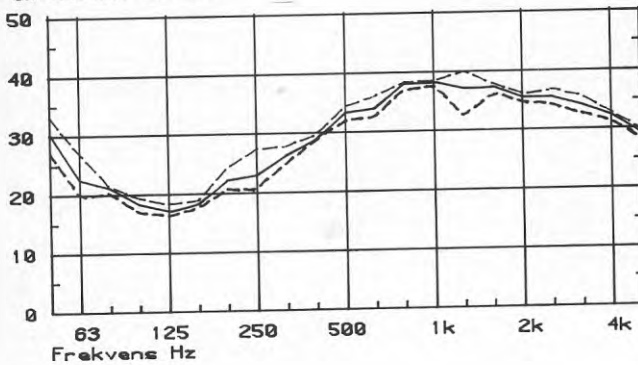
$$R_{45^\circ,w} = 37 \text{ dB,}$$

$$D_A(N) = 30 \text{ dB,}$$

$$D_A'(SP) = 32 \text{ dB.}$$

I FIGUR 5.10 och 5.11 redovisas variationsbredden för de bägge fältmätningssmetoderna. För trafikbullermätmetoden är maxskillnaden och standardavvikelsen hos $R_{tr,w}$ 1 dB resp 0,6 dB. Motsvarande siffror för högtalarmetoden är 2 dB resp 0,8 dB.

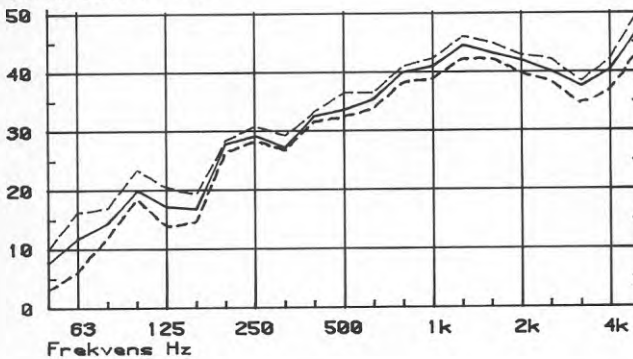
dB Reduktionstal



FIGUR 5.10

— Medelvärde av 3 fältmätningar på 12 fönster, trafikbuller.
 --- Variationsbredd, $R_{tr,w} = 33-34$ dB

dB Reduktionstal

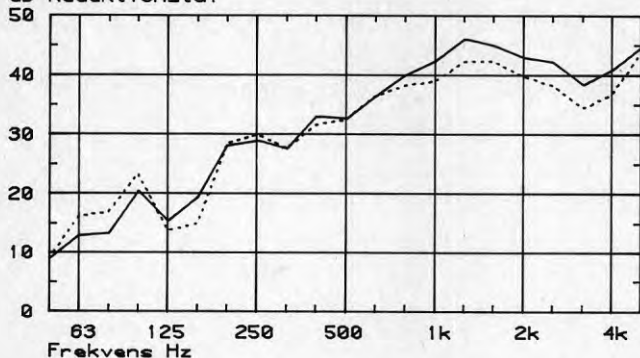


FIGUR 5.11

— Medelvärde av 6 fältmätningar på 12 fönster, högtalare.
 --- Variationsbredd, $R_{45,w} = 36-38$ dB.

I det ovan refererade materialet ingår även högtalarmätning på 1 öppningsbart fönster tillsammans med ett ej öppningsbart. Det ingår även 2 ej öppningsbara fönster i samma rum. I FIGUR 5.12 jämföres dessa bägge mätningar. Resultatet tyder klart på ett visst ljudläckage hos det öppningsbara fönstret.

dB Reduktionstal



FIGUR 5.12

— 2 ej öppningsbara fönster,

$R_{45^\circ, w} = 37$ dB,

$D_A(N) = 30$ dB,

$D_A(SP) = 29$ dB.

..... 1 öppningsbart och 1 ej öppningsbart fönster,

$R_{45^\circ, w} = 36$ dB,

$D_A(N) = 28$ dB,

$D_A(SP) = 29$ dB.

5.6 Fältmätning nr 4

5.6.1 Beskrivning av mätplats och mätningar

Mätplats: Skola i Borås

Fönstertyp: Alt A. Kopplat 3-glasfönster enligt FIGUR 5.13. Alt B. Kopplat 3-glasfönster enligt FIGUR 5.14.

Fönsterarea: 1-4 fönster, M14 x M15, dvs 2,1-8,4 m²

Antal fönster: 17 st, 1 i ett rum, 4 i ett rum samt 2 i sex rum, av vilka 2 hade fönster av typ B.

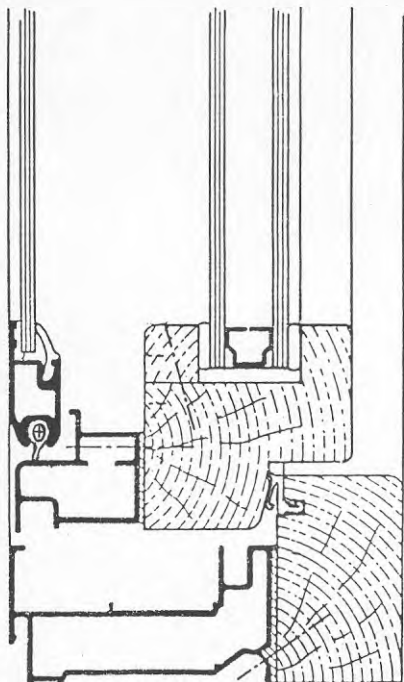
Fasadarea: 7,4 m² - 22 m²

Fasadtyp: 120 mm tegel + 15 mm luft + 75 mm lättbetong + 200 mm betong + 10 mm puts + 70 mm mineralull + 15 mm gips

FIGUR 5.13

Fönstertyp A vid fält-
mätning nr 4.

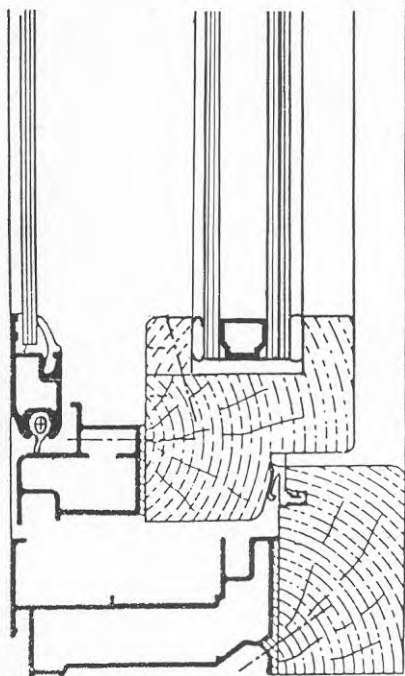
4 mm glas +
12 mm luft +
4 mm glas +
44 mm luft +
4 mm glas



FIGUR 5.14

Fönstertyp B vid fält-
mätning nr 4.

3 mm glas +
0,38 mm film +
3 mm glas +
12 mm luft +
3 mm glas +
40 mm luft +
4 mm glas



Rumsvolym: $28 \text{ m}^3 - 143 \text{ m}^3$.

Elevations-
vinkel: $50^\circ - 60^\circ$

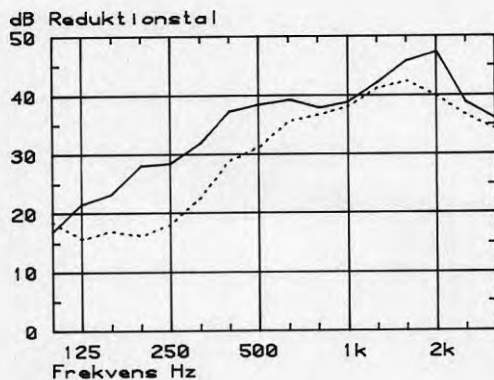
Fasadriktning: // trafikleden

Mätmetod: Trafikbuller

Mätförhållandena var även här goda. De gamla fönstrena höll på att bytas sedan ungefär ett år tillbaka. Mätningarna skedde på de nya. Inga signifikanta bakgrundsstörningar förekom. Fönstrena var av allt att döma enbart monterade med drevning + foder.

5.6.2 Resultat med kommentarer

I FIGUR 5.15 visas en jämförelse mellan fältvärden och en normalmonterad laboriemätning för fönster typ A. En stor del av skillnaden till laborievärden kan sannolikt förklaras av att enbart drevning och foder använts vid monteringen i fält.



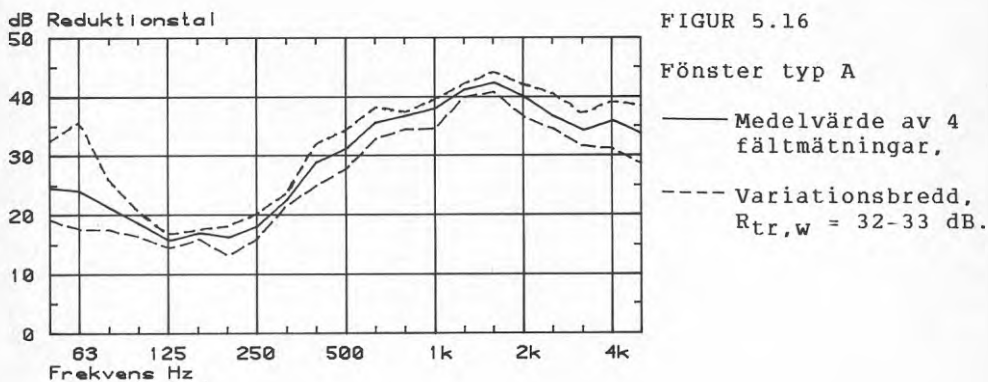
FIGUR 5.15

Fönster typ A

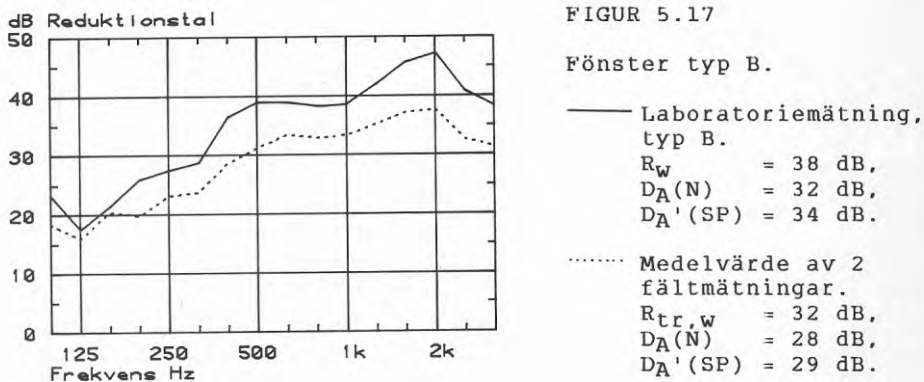
— Laboriemätning,
 $R_w = 38 \text{ dB}$,
 $D_A(N) = 32 \text{ dB}$,
 $D_A'(SP) = 34 \text{ dB}$.

..... MV av 4 fältmätningar,
 $R_{tr,w} = 32 \text{ dB}$,
 $D_A(N) = 26 \text{ dB}$,
 $D_A'(SP) = 28 \text{ dB}$.

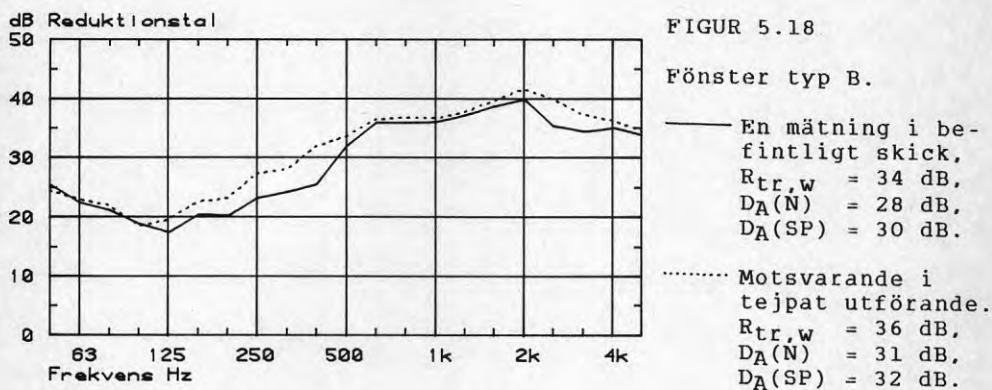
I FIGUR 5.16 visas variationsbredden för de 4 otejpade fältmätningarna på fönster typ A. De till synes ganska stora skillnaderna ger förhållandevis lite utslag på $R_{tr,w}$ som har variationsbredden 1 dB.



I FIGUR 5.17 visas en jämförelse för fönster typ B mellan laboriemätningar och medelvärdet av 2 fältmätningar. Även här är överensstämmelsen dålig.



Till sist visas i FIGUR 5.18 en jämförelse mellan samma fönster av typ B i tejpat och otejpat utförande. Den tyder på ganska dålig tättningsfunktion hos listerna som sannolikt påverkat samtliga mätningar negativt.



5.7 Fältmätning nr 5

5.7.1 Beskrivning av mätplats och mätningar.

Mätplats: Kontor utanför Borås

Fönstertyp: 3-glasfönster enligt FIGUR 5.19.

Fönsterarea: 2 fönster, M12 x M14, dvs 1,7 m²

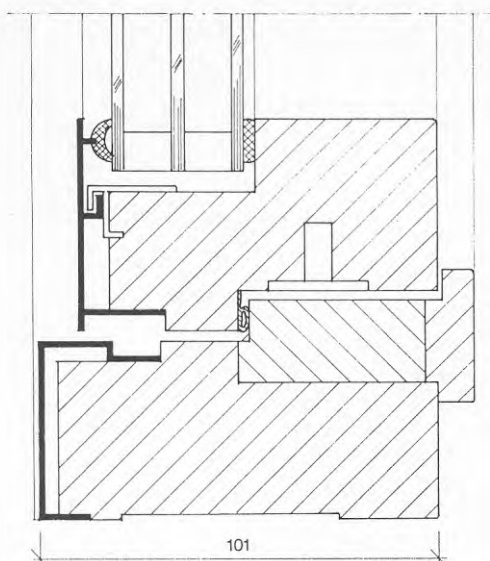
Antal fönster: 12 st eller 2 per rum.

Fasadarea: 8 m²

Fasadtyp: 120 mm tegel + 20 mm luft + 150 mm mineralull + 150 mm betong.

Rumsvolym: 43 m³

Mätmetod: Högtalare, 45° infallsvinkel.



FIGUR 5.19

Fönster vid fältmätning nr 5.

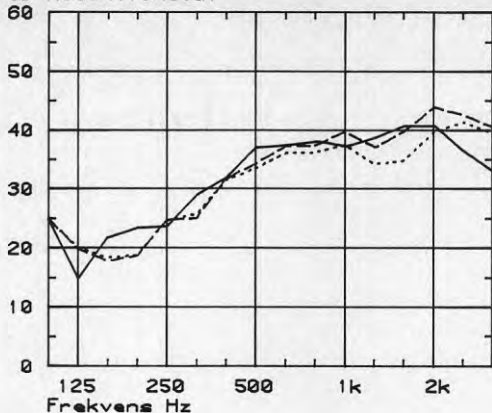
3 mm glas +
 12 mm luft +
 3 mm glas +
 12 mm luft +
 3 mm glas

Högtalarmetoden användes eftersom trafikbullernivån inte var tillräckligt hög. Fasaden var lång och jämn utan djupare nischer. 3 rum befann sig på första (= botten-) våningen och 3 på andra. Rummen var exakt lika, såväl till volym och form som möblering. Efterklangstiden mättes därför bara i ett rum. Sändarnivån mättes en gång på bottenvåningen och en gång på andra våningen. Sändarnivån mättes i 3 positioner dikt an mot fasaden.

5.7.2 Resultat med kommentarer

I FIGUR 5.20 visas en jämförelse med en laboriemätning på ett liknande fönster med samma glaspaket men med tätningslister i ytterfals istället för som i FIGUR 5.19. Med tanke på de tidigare jämförelserna som gjorts är överensstämmelsen häpnadsväckande bra.

dB Reduktionstal

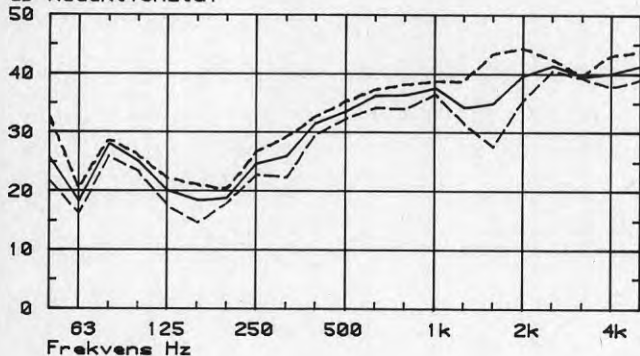


FIGUR 5.20

- Laboratiörmätning
 $R_{w} = 35$ dB,
 $D_{A}(N) = 30$ dB,
 $D_{A}'(SP) = 32$ dB.
- Medelvärde av 6
 fältmätningar.
 $R_{45,w} = 34$ dB,
 $D_{A}(N) = 29$ dB,
 $D_{A}'(SP) = 31$ dB.
- Medelvärde av 2
 tejpade fält-
 mätningar.
 $R_{45,w} = 35$ dB,
 $D_{A}(N) = 29$ dB,
 $D_{A}'(SP) = 31$ dB.

I FIGUR 5.21 visas slutligen variationsbredden för de 6 fältmätningarna i befintligt skick. $R_{45,w}$ varierar bara mellan 33 och 35 dB.

dB Reduktionstal

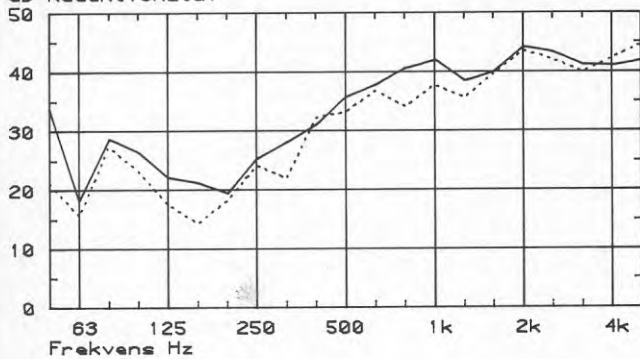


FIGUR 5.21

- Medelvärde av 6
 fältmätningar.
- Variationsbredd,
 $R_{45,w} = 33-35$ dB.

I FIGUR 5.22 visas skillnaden mellan en tejpade mätning på första våningen och en på andra våningen. Vinkeln till resp fasadpartis mittpunktsnormal var i bägge fallen 45° . Eftersom högtalaren stod på marken på samma avstånd från fasaden i de bägge fallen har dock infallsriktning och avstånd till högtalaren förändrats mellan mätningarna. Skillnaden runt 125 Hz är tankeväckande stor.

dB Reduktionstal



FIGUR 5.22

— Tejpad mätning på
bottenvåningen.

$R_{45,w} = 37$ dB,

$D_A(N) = 31$ dB,

$D_A(SP) = 32$ dB.

----- Motsvarande

våningar över.

$R_{45^{\circ},w} = 33$ dB,

$D_A(N) = 27$ dB,

$D_A(SP) = 29$ dB

6. SLUTSATSER OCH DISKUSSION

6.1 R_w eller $I_{a,lab}$

Eftersom mycket av den efterföljande analysen bygger på sammanfattningsvärdet R_w som ännu ej fått riktigt genomslag i Sverige kan det vara på sin plats att titta lite på relationen mellan $I_{a,lab}$ och R_w . En genomgång av 234 laboratoriemätningar utförda under 1983 och 1984 gav vid handen att skillnaden var mindre än eller lika med 1 dB i 96 % av fallen, se TABELL 6.1.

$R_w - I_{a,lab}$ Antal fall

-1 dB	10 (4 %)
0 dB	206 (88 %)
1 dB	9 (4 %)
2 dB	6 (2,5 %)
3 dB	1 (0,5 %)
4 dB	2 (1 %)

TABELL 6.1

Skillnaden mellan R_w och $I_{a,lab}$ för 234 moderna laboratoriemätningar.

Slutsats:

För moderna fönsterkonstruktioner har det liten betydelse om sammanfattningsvärdet är R_w eller $I_{a,lab}$. Med tanke på internationell standardisering bör därför R_w användas.

6.2 Spridning vid fältmätningar

Av avsnitt 5 har det framgått att variationsbredden 1/3-oktavbandsvis kan vara ganska stor samtidigt som variationsbredden uttryckt i R_w är betydligt mindre. I TABELL 6.2 sammanfattas resultaten från de 5 fältmätningarna.

TABELL 6.2

Spridning inom varje mätobjekt uttryckt i R_w .

Mätning	Variationsbredd	Standardavvikelse
1	33-37 dB	1,3 dB
2	33-34 dB	0,5 dB
3	33-38 dB	1,7 dB
4	32-33 dB	0,5 dB
5	33-35 dB	0,8 dB

Resultaten verkar mycket uppmuntrande och förvånansvärt bra med tanke på att i materialet ingår såväl fönster som öppnas ofta, och därigenom läcker mer, som ej öppningsbara fönster. Anledningen till de små variationsbredderna är bl a att skillnader i ljudisolering vid höga frekvenser ofta inte slår igenom på R_w -värdet.

Slutsats:

Variationen mellan olika fönster inom ett visst byggnadsobjekt är liten. Detta tyder på att de använda mätmetoderna har acceptabel repeterbarhet och att fönster inom ett visst byggnadsobjekt monteras på ett likartat sätt.

6.3 Jämförelse mellan laboratorie- och fältvärden

Skillnader mellan laboratorie- och fältvärden kan, utöver dålig ljudisolering hos ytterväggen, bero på

- olika mätmetoder
- olika montering
- okontrollerade konstruktionsskillnader
- slitage, åldrande.

Vad beträffar mätmetoder tyder jämförelserna i FIGUR 5.9 och 5.20 på att högtalarmetoden med $\Theta = 45^\circ$ ger bäst överensstämmelse med laboratoriemätningar. Denna metod behöver dock preciseras ytterligare beträffande val av mätpositioner på sändarsidan samt högtalarens avstånd till fasaden. Trafikbullermetoden är mera svårbedömd p g a de ofta förekommande bakgrundsstörningarna. Av praktiska skäl är det önskvärt att även denna metod skall kunna användas. Även trafikbullermetoden behöver preciseras ytterligare, t ex beträffande val av mättider.

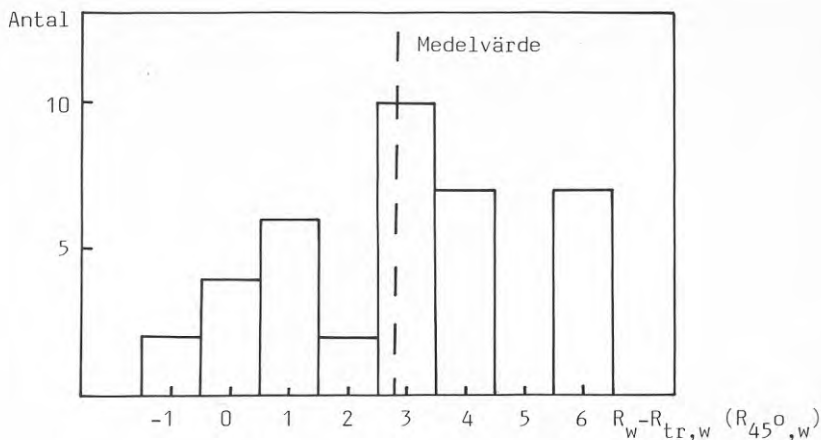
Det måste observeras att det kan förekomma systematiska fel till följd av de använda mätmetoderna. Alla jämförelser måste därför tolkas försiktigt.

Att monteringen av ett fönster kan ha stor betydelse visas tydligt i avsnitt 4.4. Speciellt vid fältmätningarna 2 och 4 får man räkna med att monteringen i fält varit akustiskt underlägsen den som använts i laboratoriet. Dyliga brister bör kunna undanröjas, åtminstone delvis, i framtiden genom att ställa samma krav på montering och monteringsanvisningar som vi gör för ljudklassade dörrar.

Vad beträffar okontrollerade konstruktionsskillnader kan man t ex tänka sig att tillverkare har bytt tätningsslister, laminat i ett glas eller gjort något annat som är svårt att upptäcka men som kan ha akustisk betydelse.

Slitage och åldrande kan t ex betyda att en tätningslist tätar sämre, en fogmassa hårdnar och spricker, ett laminat ändrar egenskaper osv. Vissa av mätningarna som utförts tyder t ex på att fönster som öppnas oftare tätar sämre än fönster som normalt är stängda.

Efter kommentarerna ovan kan vi nu jämföra resultaten från de individuella fältmätningarna som i avsnitt 5 redovisats i form av medelvärden och variationsbredder. Resultatet ges i form av ett histogram som visas i FIGUR 6.1.



FIGUR 6.1 Skillnaden mellan laboratorie- och fältmätningar

I medeltal ger alltså fältmätningen ett 3 dB lägre värde på R_w . Maximalt är skillnaden 6 dB. En uppstramning av monteringen i fält samt förbättrad mätmetodik bör kunna minska dessa skillnader ytterligare. Det förefaller rimligt att tills vidare arbeta med en skillnad mellan laboratorie- och fältvärden på 3 dB.

Slutsats:

Högtalarmetoden med infallsvinkel 45° förefaller ge bäst överensstämmelse med laboriemätta värden. Mätmetodproblematiken behöver utredas ytterligare. Fönster bör monteras och ha monteringsanvisningar efter samma principer som ljudklassade dörrar. I klassningssammanhang förefaller det rimligt att räkna med en marginal på 3 dB mellan laboratorie- och fältmätningar.

6.4 Val av klassningstal

Den klassning som finns idag är baserad på R_w . Detta är i och för sig ologiskt eftersom vägningskurvan bakom R_w inte har någonting med trafikbuller att göra. För frekvensområdet 100-3150 Hz borde man istället välja $D_A(N)$ eller $D_A'(SP)$ beroende på vilket spektrum som är bäst.

Linjär regressionsanalys av mätningarna i avsnitt 5 ger följande samband:

$$R_w = 2.23 + 1.14 D_A(N) \quad [n=13, r=0.87] \quad (6.1)$$

och

$$R_w = -1.62 + 1.19 D_A'(SP) \quad [n=13, r=0.94] \quad (6.2)$$

Inkluderas även de i avsnitt 5 redovisade laboratoriemätningarna erhålles

$$R_w = 4.15 + 1.07 D_A(N) \quad [n=18, r=0.88] \quad (6.3)$$

resp

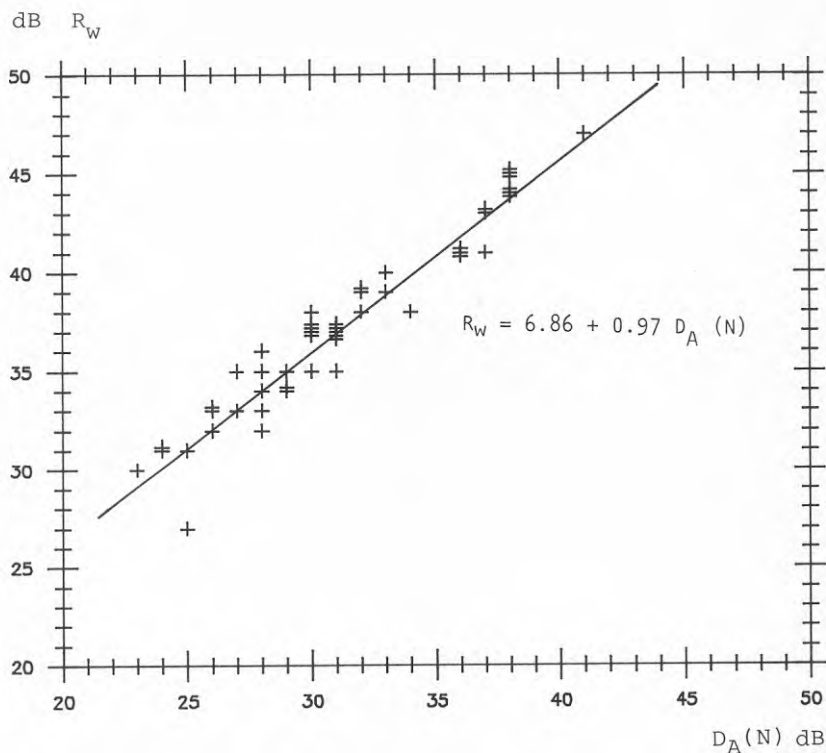
$$R_w = 0.85 + 1.10 D_A'(SP) \quad [n=18, r=0.93] \quad (6.4)$$

Kompletteras materialet ytterligare med 31 laboratoriemätningar erhålles

$$R_w = 6.86 + 0.97 D_A(N) \quad [n=49, r=0.97] \quad (6.5)$$

resp

$$R_w = 4.48 + 0.99 D_A'(SP) \quad [n=49, r=0.98] \quad (6.6)$$



FIGUR 6.2 Samband mellan R_W och $D_A(N)$.

Som synes är korrelationen mycket hög. Underlaget bakom ekv (6.5) visas i FIGUR 6.2. Bortsett från en punkt ($R_W = 27$ $D_A(N) = 25$) ligger samtliga punkter inom 2 dB från regressionslinjen. Motsvarande figur för $D_A'(SP)$ blir i princip likadan om vi sätter

$$D_A'(SP) = D_A(N) + 2 \quad (6.7)$$

Resultatet visar att R_w bör fungera ungefär likvärdigt med D_A som klassningsmått, åtminstone så länge frekvensområdet inskränkes till 100-3150 Hz. Det relativa klassningsläget för fönstrena förändras alltså knappast vid den spektrumförändring som finns mellan $D_A(N)$ och $D_A'(SP)$.

För moderna fönster gäller att R_w normalt ligger inom området 30-45 dB. Sambandet R_w , $D_A(N)$ kan då approximeras med

$$R_w = D_A(N) + 6 \quad (6.8)$$

Med "typfallet" i ekv (3.3) erhålles då

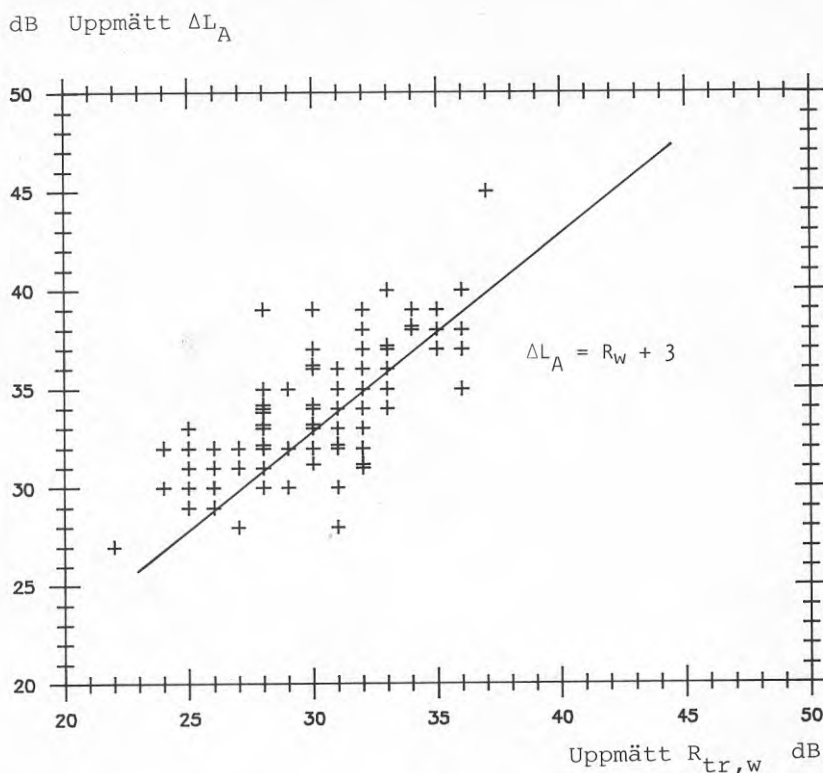
$$\Delta L_A = R_w + 1 \quad (D_A(N)\text{-spektrum}) \quad (6.9)$$

Med det andra något mindre lågfrekventa spektrat som ligger bakom $D_A'(SP)$ erhålles istället

$$\Delta L_A = R_w + 3 \quad (D_A'(SP)\text{-spektrum}) \quad (6.10)$$

R_w i ekvationerna är de i verkligheten uppmätta $R_{tr,w}$ eller $R_{45^\circ,w}$. Eftersom det laboratoriemätta R_w normalt är ca 3 dB högre innebär därför ekv (6.10) att ΔL_A i fält numeriskt är ungefär lika med det laboratoriemätta R_w .

Ekv (6.10) har testats på ett stort antal fältmätningar som ligger utanför det här projektet. Resultatet visas i FIGUR 6.3. Spridningen är stor men linjen $\Delta L_A = R_w + 3$ ligger onekligen mitt i kurvskaran.

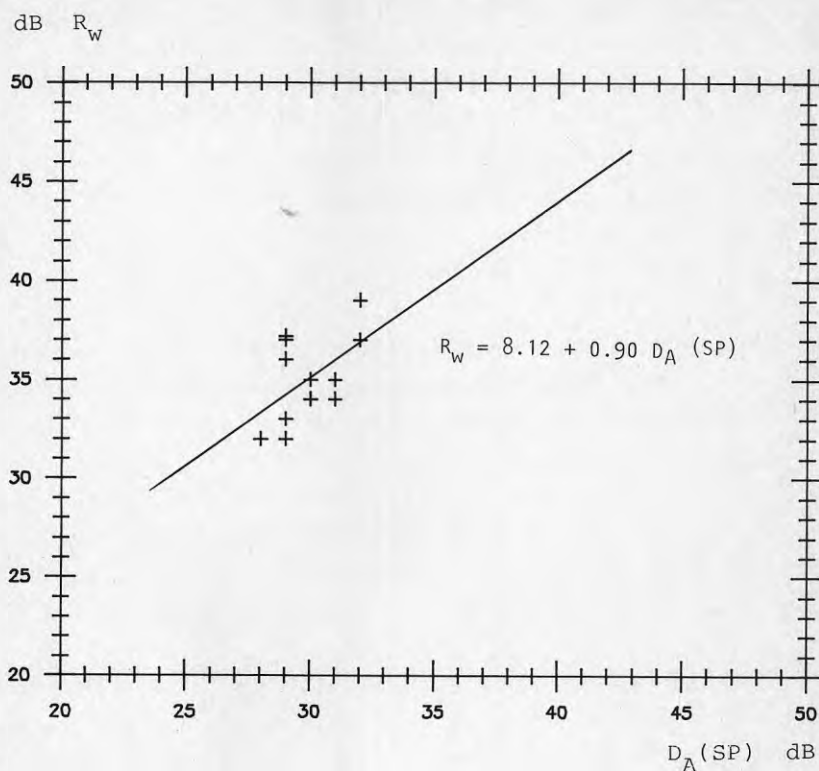


FIGUR 6.3 Uppmätt ΔL_A och $R_{tr,w}$ från 75 fältmätningar

Resonemanget ovan förutsätter alltså frekvensområdet 100-3150 Hz. Om vi istället utnyttjar gjorda mätningar inom frekvensområdet 50-5000 Hz och gör regressionsanalys på R_W som funktion av D_A (SP) beräknat på hela området erhålles

$$R_W = 8,12 + 0,90 D_A(\text{SP}) \quad [n=13, r=0,53] \quad (6.11)$$

Underlaget visas i FIGUR 6.4. Korrelationen är här liten, $r = 0,53$ att jämföra med $r = 0,87$ som erhöles med samma material för $D_A(N)$ enligt ekv (6.1).



FIGUR 6.4 Samband mellan R_W och $D_A(SP)$.

Utvidgas frekvensområdet till 50-5000 Hz kan vi alltså förvänta oss att R_W fungerar betydligt sämre som klassningsmått.

Slutsats:

R_W fungerar väl till klassning av fönster sålänge vi endast är intresserade av frekvensområdet 100-3150 Hz. Det erhållna talvärdet i laboratoriet bör också i många fall kunna approximera ΔL_A -skillnaden i fält.

7. FÖRSLAG TILL KLASSNING

Tills vidare bör fönster klassas efter vägt reduktionstal i laboratorium, R_w . Laboratoriekravet bör ha en marginal på 3 dB till vad som kan förväntas i fält. Beteckningen på klassen bör ungefärligen svara mot det laboratoriemätta R_w , eftersom detta talvärde väl svarar mot vad man kan förvänta sig för ΔL_A i fält. Varje klassat fönster bör vara försett med en påtejpad monteringsanvisning.

Eftersom kraven ovan uppfylles av den danska standarden DS 1084 som också ingår i Planverkets typgodkännanderegler för fönster bör denna snarast göras till svensk standard.

Med tills vidare ovan menas så länge vi har fönsterkonstruktioner av nuvarande 3-glastyp och så länge vi inskränker frekvensområdet till 100-3150 Hz.

På sikt kan det bli aktuellt att utvidga frekvensområdet åtminstone ner till 50 Hz. Innan så sker bör mätmetoderna förfinas ytterligare. Utvidgas frekvensområdet blir det lämpligt att införa ett sammanfattningsvärde av typ D_A .

8. TILLKÄNNAGIVANDE

Projektet har genomförts vid laboratoriet för akustik vid Statens provningsanstalt i Borås som även bidragit till finansieringen av projektet.

Carl-Axel Carlsson har planerat och genomfört mätningarna. Yvonne Samuelsson har renskrivit rapporten. Cleopatra Anadiotou har ritat diagrammen. Anders Granhäll har hjälpt till med datorprogram. Ett antal uppdragsgivare har hjälpt till på olika sätt.

Alla ovan tackas varmt. Ett speciellt tack riktas även till dem som upplåtit fältmätningsobjekten.

LITTERATUR

- [1] SBN Godkännanderegler för fönster, 1984.
Statens planverks författningssamling,
PFS 1984:2.
- [2] M. Ringheim, 1983.
Vegtrafikkstøy. Litteraturgjennomgang, Del 3.
Støyreduksjonstiltak, fasade. Kilderapport 70.
- [3] F. F. Rudler, 1983.
Line source and site characterizations for
defining the sound transmission loss of
building facades. Journal of Sound and
Vibration 91, 403-424.
- [4] J. H. Rindel, 1975.
Transmission of traffic noise through windows.
Report no 9, The Acoustics Lab, Technical
University of Denmark.
- [5] D. Kutzer, 1982.
Messung der Luftschalldämmung von Fenstern in
Aussenwänden am Bau. Fortschritte der Akustik -
FASE/DAGA '82.
- [6] J. D. Quirt, 1984.
Sound fields near exterior building surfaces.
The Journal of the Acoustical Society of
America, 77, 557-586.
- [7] S. Hveem, 1981.
Isolering mot utendørs støy. Anvisning 19,
Norges byggforskningsinstitutt.
- [8] S. Ingemansson, 1968.
Ljudisolerande fönsterkonstruktioner.
Rapport 3/68 från Byggforskningsrådet.

- [9] S. Ljunggren, 1973.
Fönsters ljudisolering mot trafikbuller.
Rapport R46:1973 från Byggforskningsrådet.
- [10] Göran Kårfalk, 1977.
Generaliserade trafikbullerspektra.
Rapport 77-20 från avdelningen för byggnadsakustik, CTH.
- [11] K. Bodlund, 1979.
Luftljudsisolering. En sammanställning av tillämplig teori. Rapport R60:1968 från Byggforskningsrådet.
- [12] A. Brekke, 1981.
Calculation methods for the transmission loss of single, double and triple partitions.
Applied Acoustics 14, 225-240.
- [13] H. Jonasson, 1984.
Ljudisoleringsteori och verklighet. Föredrag vid NAS -84 i Trondheim.
- [14] J. Yoshimma & J. Kanazarva, 1984.
Influence of damping characteristics on the transmission loss of laminated glass.
Proceedings Inter-Noise 84.
- [15] J. D. Quirt, 1983.
Sound transmission through windows II. Double and triple glazing. The Journal of the Acoustical Society of America, 74 (2), 534-542.
- [16] N. Michelsen & B. Rasmussen, 1981.
Vinduesformatets betydning for det målte reduktionstal. Rapport nr 22, Lydteknisk Laboratorium, Lyngby.

BILAGA 1

LJUDISOLERINGSTEORI OCH VERKLIGHET

Hans G. Jonasson

Statens provningsanstalt
S-501 15 BORÅS, Sverige

Hur noggrant kan man egentligen beräkna en konstruktions reduktionstal? Genom att applicera välkänd ljudisoleringsteori på Statens provningsanstalts "skattkammare" av laboratoriemätningar har vi försökt besvara frågan.

Den teori som använts har i huvudsak hämtats ifrån sammanställningen i [1] med vissa kompletteringar för dubbelkonstruktioner utan absorberent enl [2]. Nya empiriska korrektioner redovisas i ekvationerna (10), (11) och (13).

Med inom akustiken allmänt använda beteckningar gäller för en enkelvägg med arean S och för $f < 0.55 f_c$ (ca)

$$R_m = R_e = -10 \lg \left[\frac{\pi m f}{\rho c} \left(1 - \frac{f}{f_c} \right)^2 \right]^{-2} \left[\ln \left(\frac{2\pi f \sqrt{S}}{c} \right) + 0.16 - U(\Lambda) + \frac{c^2}{16\pi^3 f^2 S} \right] \quad (1)$$

där $U(\Lambda)$ är en formfaktor som är 0 för en kvadratisk yta ($\Lambda=1$) och upp till 0.5 för en långsmal yta ($\Lambda=10$).

Över koincidens, dvs $f > 1.1 f_c$ (ca) gäller

$$R_e = 20 \lg \left(\frac{f m \pi}{\rho c} \right) + 10 \lg \left(\frac{2\eta f}{\pi f_c} \right) \quad (2)$$

Runt koincidens finns ingen egentlig teori. Vid beräkningarna har därför interpolerats emellan $R_e(0.55 f_c)$ och $R_e(1.1 f_c)$. Koincidensfrekvensen i sin tur fås ur sambandet

$$f_c = 1.84 \cdot 10^4 \sqrt{m/B} \quad (3)$$

Problemet med tillämpningen av (1)-(3) ligger främst i att beräkna (uppskatta) böjstyvheten B och förlustfaktorn η . Speciellt i komplicerade flerskiktsskonstruktioner som dörrar o dyl.

För ideala dubbelväggar utan mekaniska förbindningar och med absorberent i luftmellanrummet gäller för $f < 1.1 f_0$ (ca) att

$$R_{da} = R_e (m_1 + m_2) \quad (4)$$

och därutöver upp till $f = 55/d$

LJUDISOLERINGSTEORI OCH VERKLIGHET

$$R_{da} = R_{e1} + R_{e2} + 20 \lg (fd) - 29 \quad (5)$$

Därefter, dvs för $f > 55/d$ gäller

$$R_{da} = R_{e1} + R_{e2} + 6 \quad (6)$$

d = luftmellanrummet och grundresonansfrekvens f_o fås ur

$$f_o = 88 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad (7)$$

Problemet med tillämpning av (4)-(7) ligger främst i att den ideala dubbelväggen ytterst sällan förekommer i praktiken.

För en ideal dubbelvägg utan absorberent fås för $f < 1.1 f_o$ (ca)

$$R_{dr} = R_e (m_1 + m_2) \quad (8)$$

och för $f > 1.1 f_o$ har tillämpats den "primitiva" formeln

$$R_{dr} = R_{e1} + R_{e2} + 10 \lg A - 10 \lg S \quad (9)$$

där A = kantabsorptionen. Eftersom (9) är uppenbart orimlig för små luftmellanrum och låga frekvenser får den ses som en empirisk ansats. Den innehåller dock beroendet $10 \lg d$ som man ofta har funnit vid systematiska fönstermätningar.

På den ganska stora kopplingen mellan skikten är den ideala dubbelväggen utan absorberent praktiskt intressantare än den med absorberent. Med absorberent avgör ofta de fasta förbindelserna reduktionstalet medan ekv (9) ofta direkt kan användas vid beräkningar på t ex dåliga och medelbra fönster. (9) fungerar ofta bra för fönster om man använder sig av kantabsorptionsfaktorn $\alpha = 0.1$.

(8)-(9) fungerar normalt mycket dåligt runt grundresonansfrekvensen. Över f_o ger (9) ofta mycket lägre värden än vad (8) ger under f_o . Ändå ger (8) alldeles för höga värden. För att minska gapet mellan teori och verklighet har därför följande empiriska korrekationer införts:

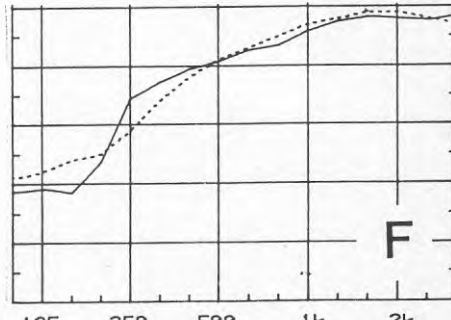
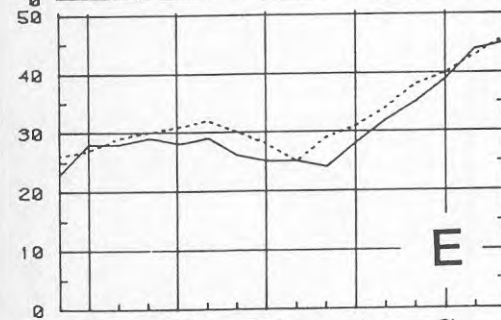
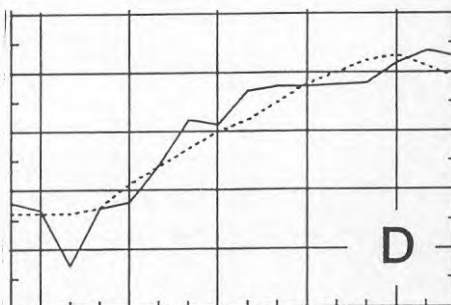
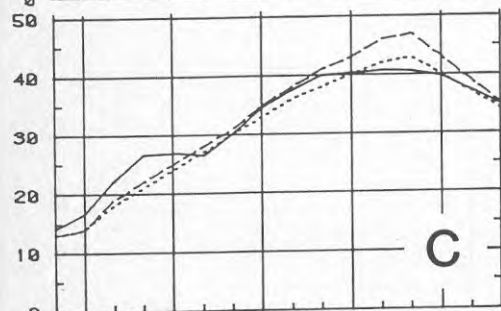
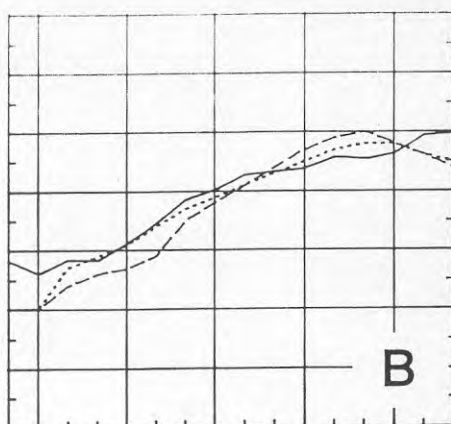
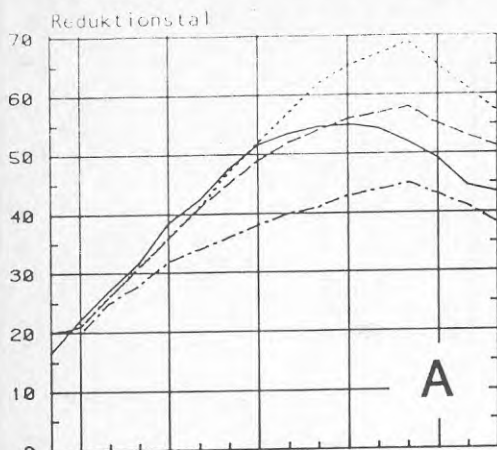
$$R_{dr} (p-2) = R_{dr} (p-1) = R_{dr} (p) - 6 \quad (10)$$

där $R_{dr} (p)$ = reduktionstalet enligt (8) för 1/3-oktavbandet närmast under $f = 1.1 f_o$.

För $f > 1.1 f_o$ har införts restriktionen

$$R_{dr} > R_{dr} (p) \quad (11)$$

LJUDISOLERINGSTEORI OCH VERKLIGHET



125 250 500 1k 2k
Frekvens Hz

125 250 500 1k 2k
Frekvens Hz

- A — 13 mm gips + 70 mm stålreglar med absorbent + 13 mm gips, ... beräknat utan förbindningar, --- med punktförbindningar, ··· med linjeförbindningar.
- B — 4 mm glas + 12 mm luft + 4 mm glas + 65 mm luft + 3 mm glas, ... beräknat för dubbelkonstruktion, --- beräknat för trippelkonstruktion.
- C — 13 mm gips + 70 mm stålreglar utan absorbent + 13 mm gips, ... beräknat med linjeförbindelse, --- beräknat med punktförbindelse.
- D — 3 mm glas + 35 mm luft + 3 mm glas, ... beräknat
- E — 70 mm lättbetong, ... beräknat
- F — 6 mm hårdträfiber + 13 mm gips + 35 mm träreglar med absorbent + 6 mm hårdträfiber.

Transmission via fasta förbindelser ger en reduktionstalskurva som är parallell med masslagen, dvs

$$R_f = R_m (m_1 + m_2) + \Delta R \quad (12)$$

(12) gäller för $f > 1.1 f_0$ (ca). Under denna frekvens påverkar förbindelserna ej resultatet. Eftersom (12) ej fungerar i koincidensområdet har en empirisk ekvivalent masslag införts där

$$R_m (m_1 + m_2) = 20 \lg (10^{R_{e1}/20} + 10^{R_{e2}/20}) \quad (13)$$

För en linjeförbindelse gäller att

$$\Delta R_l = 20 \lg \left(\frac{m_1 \sqrt{f_{c2}} + m_2 \sqrt{f_{c1}}}{m_1 + m_2} \right) + 10 \lg b - 23.4 \quad (14)$$

där $b = c/c$ avståndet mellan linjeförbindelserna. För en punktförbindelse blir motsvarande uttryck

$$\Delta R_p = 20 \lg \frac{m_1 f_{c2} + m_2 f_{c1}}{m_1 + m_2} + 20 \lg e - 44.8 \quad (15)$$

där $e = c/c$ -avståndet mellan punktförbindelserna.

(12)-(15) kan i praktiken vara svåra att tillämpa eftersom förbindelserna då ofta avviker ifrån de ideala. (14) fungerar ofta bra för träreglar. För små konstruktioner såsom fönster måste dock korrekationer göras för den relativt sett stora andelen kantreglar. Ståltreklar ligger ofta någonstans emellan (14) och (15).

För en praktisk konstruktion måste de olika transmissionsvägarna överlagras, dvs

$$R_{dafi} = 10 \lg (10^{-R_{f1}/10} + 10^{-R_{da}/10}) \quad (16)$$

och på motsvarande sätt för andra konstruktionstyper.

När det gäller konstruktioner med fler än 2 skikt är teoribildningen dålig. För en trippelkonstruktion kan grundresonansfrekvenserna beräknas ganska enkelt. Mätningar visar dock att den högre av de två frekvenserna oftast påverkar reduktionstalet obetydligt. De modeller som undersökts för trippelkonstruktioner där de två skikten med minst luftgap d betraktats som enkelvägg med $d = 0$ resp dubbelvägg med $d = d$. Därefter tillämpas den vanliga dubbelkonstruktionsteorin.

Referenser

- [1] Kaj Bodlund, SP-RAPP 1979:16
- [2] A. Brekke, Applied Acoustics 14, 225-240



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830281-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
Provningsanstalt, Borås.**

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

R125: 1985

ISBN 91-540-4474-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705125

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 35 kr exkl moms