



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Bullerdämpning med glas

Teknisk bulletin

Inledning

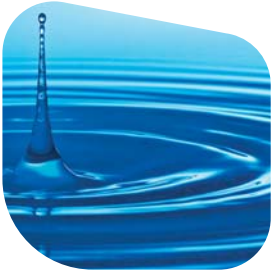
Du kanske sitter inomhus en söndagseftermiddag och läser en bra bok, har gått till sängs för att sova eller sitter på jobbet och försöker koncentrera dig när du störs av högljudda grannar, trafik eller annat oönskat ljud. Alla störs av buller då och då.

Ökad befolkningstäthet i kombination med ökad utbredning av fabriker och transporter har lett till att bullret blir allt värre och svårare att komma ifrån. Det finns också en ökad medvetenhet om att stress orsakad av vardagsljud som stör tidigare tysta miljöer kan påverka hälsan. Allt tyder på att trafik och allmänt buller kommer att öka och livsutrymmet att minska i framtiden. Det finns ett växande intresse av att skydda människor från buller för att undvika den betydande stress som det orsakar, och som i vissa fall kan orsaka allvarlig sjukdom.

Mycket arbete har lagts ner på att kontrollera det buller som kommer in i byggnader och intilliggande områden. Detta är viktigt, men här vill vi koncentrera oss på hur valet av rätt glas kan hjälpa till att hantera problemet.

Vad är ljud?

Fysiskt sett ingår ljud i området våg-fysik/mekaniska svängningar. Redan för 2 000 år sedan använde en romersk arkitekt vågor i vatten för att förbättra sin design av amfiteatrar.



Figur 1: Ljud sprider sig på liknande sätt som vågor på vattnet

Om man till exempel slår an en stämgaflfel kan man höra svängningarna, men man ser dem inte. Stämgaflfels svängningar överförs till luftmolekyler som i sin tur överför svängningar till andra luftmolekyler. Detta fenomen kan ses i vatten. Svängningarna kan liknas vid en våg i vattnet där vågens höjd är ett mått på ljudets volym och antalet vågor i tid är ljudets frekvens, dvs. ju fler

vågor desto högre frekvens. Frekvens mäts i cykler per sekund eller Hertz. Hertz är det korrekta sättet att beskriva ljudfrekvens eller tonhöjd och förkortas Hz.

I musik har tonen A (närmsta A efter grundton C) en frekvens på 440 Hz eller svängningar per sekund vid konsertstämning. Om frekvensen fördubblas till 880 Hz ökar tonen med en oktav för jämn tempererad stämning.

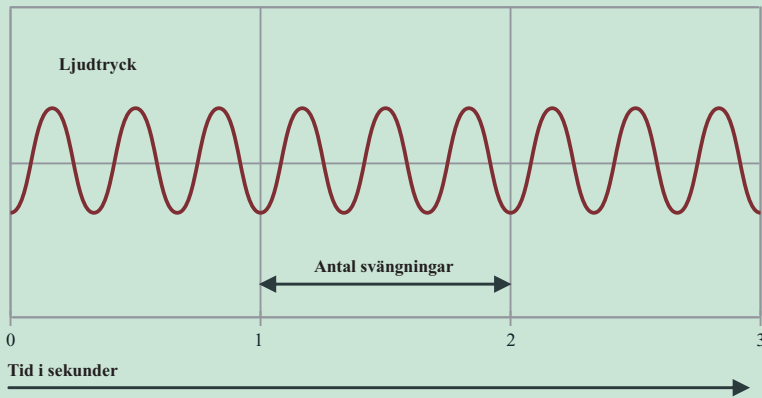
Det mänskliga örat hos en ung person kan höra frekvenser mellan 20 Hz och 20 000 Hz och kan uppfatta ljudtryck, eller närmare bestämt tryckvariationer, mellan 10^{-5} Pascal (Pa) = 0,00001 (undre hörselgräns) och 10^2 Pa = 100 Pa (smärtröskel) genom att överföra dessa till hjärnan som en uppfattning av volym. Med åldern minskar omfånget av hörbara frekvenser i båda ändrar av skalan, antingen naturligt eller på grund av hörselskada.

Förhållandet mellan det lägsta och högsta ljudet är 1 till 10 miljoner. Eftersom detta är mycket opraktiskt att arbeta med uttrycks ljudtrycksnivån (L) i praktiken på en logaritmisk skala där ljudtrycket omvandlas till ett mer praktiskt mått, en decibelskala (dB). Normalomfånget sträcker sig från 0 dB (hörseltröskel) till omkring 130 dB (smärtröskel). I figur 3 visas några exempel.

Det finns många olika sätt att skapa ljud och varje ljud kan ge upphov till olika ljudvolym vid olika frekvenser. Om vi tar flygplan som exempel finns det en tydlig skillnad mellan ljuden från propellerdrivna flygplan, moderna jetplan och stridsplan. Om volymen enligt frekvens ritas upp i ett diagram skulle de se mycket annorlunda ut. När man försöker reducera buller kan man ta hänsyn till dessa variationer. Olika glastyper fungerar också bättre för vissa frekvenser än för andra. Genom att matcha glasets prestanda med ljudet kan man på ett selektivt sätt minska de mest irriterande ljuden för att uppnå bästa möjliga resultat. De som bor i närheten av en privat landningsbana med lätta flygplan har andra problem än de som är granne med en militärbas.

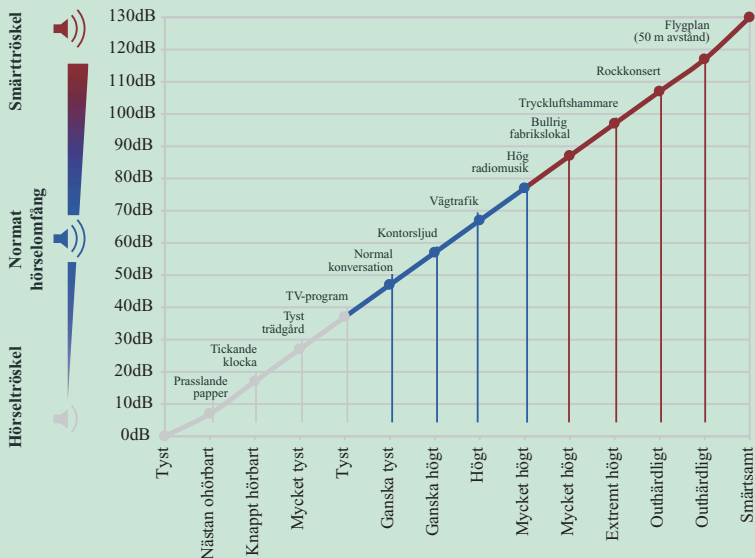
Lösningen på bullerproblemet är att använda olika glaskonfigurationer.

Definition av frekvens



Figur 2: Definition av frekvens

Bullerkälla och uppfattning



Figur 3: Bullerkälla och uppfattning (källa: Kuraray, Troisdorf)

Det finns en rad olika sätt att fastställa bullernivån. För stora eller komplicerade projekt kan man beställa en bullerundersökning som utförs av akustikkonsulter. De använder känslig utrustning för att mäta de genomsnittliga bullernivåerna per frekvens under en period. Dessa mätningar ger exakt information om bullervolymer på varje frekvens som måste dämpas. Informationen tillhandahålls ofta i rapporter som beskriver bullret i en tabell med oktavbandsfrekvenser, t.ex.:

Frekvens [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Ljudtryck [dB]	30	36	42	44	48	50

Ljudet kan mätas på plats, nära ljudkällan eller på en plats däremellan. I de fall då det inte finns information för platsen kan man justera ljudet med hänsyn till avståndet. Ju längre bort från ljudkällan du befinner dig, desto mindre inverkan har den.

Exempel: Bullerminskning med ökat avstånd

Trafikbuller minskar med ungefär 3dB när avståndet fördubblas vinkelrätt mot vägen. Om till exempel L är dB-bullernivån vid 5 meters avstånd följer minskningen följande mönster:

5 meter	L	dB
10 meter	$(L-3)$	dB
20 meter	$(L-6)$	dB
40 meter	$(L-9)$	dB
80 meter	$(L-12)$	dB
160 meter	$(L-15)$	dB

Bullernivån mäts ofta över en period och man tar även bort effekten av enstaka höga ljud, till exempel en bil som tutar. En teoretisk stabil ljudnivå kan fastställas som har samma totala energi som det verkliga ljudet. Denna kallas ekvivalent ljudnivå (L_{eq}). Den teoretiska stabila ljudnivån, inte isolerade ljudtoppar, ska utgöra grunden för utformningen av bullerskyddet.

Målsättningen med designen bör vara att kontrollera det allmänna bullret istället för undantagen, annars blir kriterierna för bullerdämpningen extrema.

Med vissa typer av ljudmätning utrustning kan man registrera data med en A-vägning. Ljudgränser inomhus uttrycks ofta i dB(A) eller L_{Aeq} . A-vägning är en anpassning till ljudet på varje frekvens som följer en standardiserad kurva. A-vägningen tar hänsyn till att det mänskliga örat inte reagerar likadant på samma volym på varje frekvens, dvs. vissa frekvenser verkar vara högre än andra fastän de har samma energi. Det är viktigt att ta hänsyn till den mänskliga reaktionen på ljud istället för att fatta beslut baserat på de känsliga instrument som mäter ljud på ett absolut sätt.

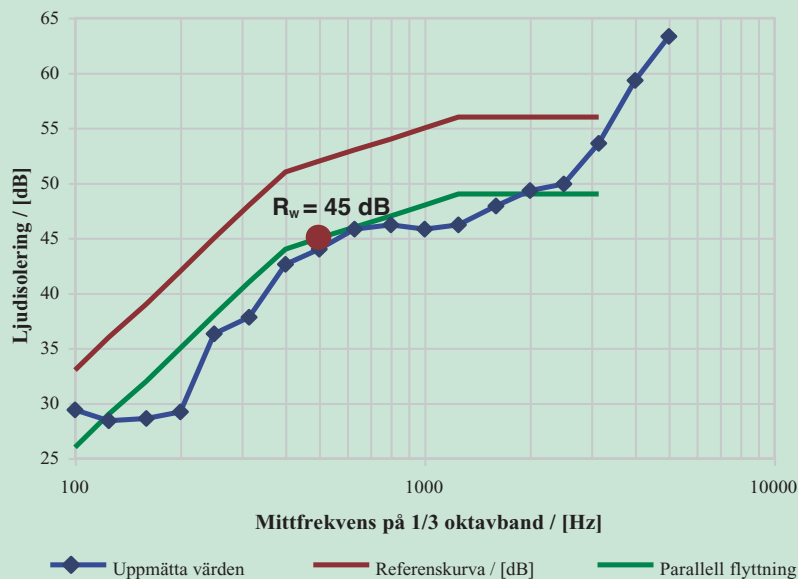
När man inte genomför en undersökning kan projektören använda exempel på tidigare undersökningar med typiska ljudnivåer från vanliga ljudkällor, t.ex. vägtrafik, musik, tal, tåg och flygplan.

När information om 1/3 oktav eller oktavband inte är tillgänglig använder man istället ett sammanfattande värde för ljudet. Normalt används värdena R_w - och $R+C_{tr}$. För glasprestanda bestämmer man dem genom att rita upp punkter över ljuddämpningen efter frekvens på en kurva och jämföra den med standardkurvor tills man hittar den som ligger närmast. Ljudminskningen på en fast frekvens på standardkurvorna ger R_w - och $R+C_{tr}$ -värdena.

När man känner till ljudnivån kan man välja rätt prestanda på glaset så att det passar önskad nivå av grundbrus. Det är viktigt att mätindexen matchas eller uttrycks i samma skala för att garantera att beräkningen är korrekt.

Bestämning av ljudisoleringsvärdet R_w

10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm spalt – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™**



Figur 4: Bestämning av ljudisoleringen

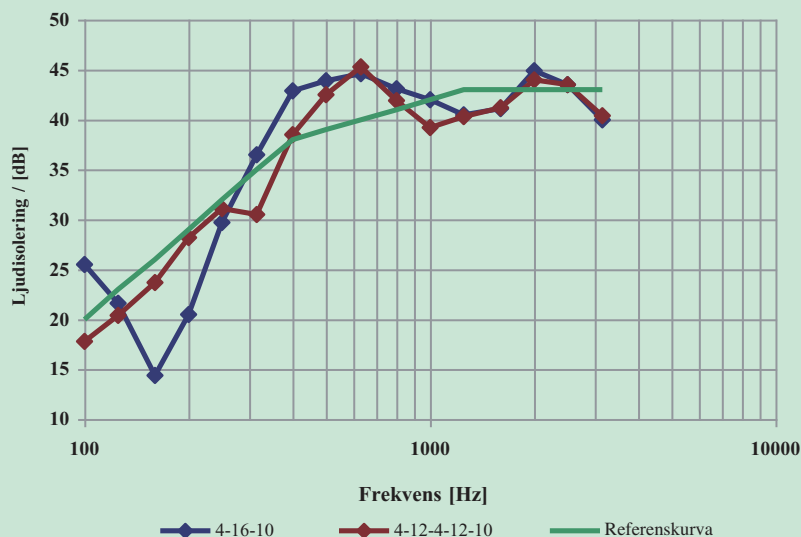
* tidigare kallat Pilkington **Optilam™** Phon

För dig som vill veta lite mer

De uppmätta värdena för 10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm spalt – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™*** visas i blått. Den referenskurva som specificeras i EN 717 avsnitt 4 visas i rött. Denna referenskurva flyttas nu nedåt i hela dB-intervall, tills summaavvikelsen för de uppmätta värdena från den flyttade referenskurvan är maximerad och mindre än 32 dB. Endast de uppmätta värden som är mindre än referensvärdena tas med i beräkningen. Y-värdet på den flyttade referenskurvan (den gröna kurvan i fig. 4) vid en frekvens på 500 Hz är R_w -värdet, i detta exempel 45 dB. Tyvärr är förhållandet som beskrivs ovan mellan ljudtryckets omfång och uppfattad volym inte så enkelt som vetenskapsmän önskar att det var. Detta beror på att naturen har gjort vår hörsel mer känslig för vissa omfång än andra. Vi uppfattar till exempel en ton på tusen Hz som högre än en ton på hundra Hz, fastän volymen är densamma. Formen på referenskurvan tar hänsyn till denna egenskap hos det mänskliga örat.

Jämförelse mellan två isolerglas med olika uppbyggnad där

$R_w = 39\text{dB}$



Figur 5: Jämförelse mellan två isolerglas med olika uppbyggnad

Fastställa ljudisoleringen för olika glastyper

Eftersom det skulle vara dyrt och ta lång tid att mäta varje system på plats registreras alla spektrum av ljudisolering under standardiserade förhållanden (den blå linjen i figur 4). Som vi ska se är ljudisolering mycket frekvensberoende. För att man inte ska behöva arbeta med hela datauppsättningen kan detta diagram reduceras till ett enda värde. Den standardiserade proceduren för detta beskrivs i rutan ovan. Resultatet är ett enda värde – i detta fall $R_w = 45\text{dB}$ – som kan användas för vidare beräkningar.

Nackdelen med en specifikation med ett enda värde är att vi kan få samma resultat med helt olika kurvformer, vilket visas i figur 5.

Vi får mer uttryckliga specifikationer med ett enda värde om vi använder ”skraddarsydd” referenskurvor för specifika ändamål.

Sådana "specialfall" är C och C_{tr}. De tar hänsyn till de olika frekvensspektrum för inomhusljud och trafikljud som gör det möjligt att hitta lämpliga lösningar på dessa problem på ett enkelt sätt.

C-värdet tar hänsyn till ljudkällorna:

- Inomhusaktiviteter (prat, musik, radio, TV)
- Barn som leker
- Tågtrafik vid medelsnabb och snabb hastighet
- Motorvägstrafik > 80 km/h
- Jetplan på nära avstånd
- Fabriker som främst producerar mellan- och högfrekvent ljud

C_{tr}-värdet tar hänsyn till ljudkällor som:

- Stadstrafik
- Tågtrafik med låg hastighet
- Propellerflyg
- Jetplan på långt avstånd
- Discomusik
- Fabriker som främst producerar låg- och mellanfrekvent ljud.

Om den planerade byggnaden är i en stad, precis intill en stor väg, bör man främst ta hänsyn till C_{tr}-värdet. Om en byggnad planeras precis bredvid en motorväg är C-värdet avgörande.

Beräkningsregler

Även om användning av dB-skalan ger mer praktiska värden resulterar det också i något ovanliga "beräkningsregler". Om en bullerkälla fördubblas ökar det totala dB-värdet bara med 3dB. En tiodubbel ökning, t.ex. tio elfläktar istället för en, leder endast till en fördubbling av ljudet, d.v.s. 10 dB.

För att slutföra förklaringen bör vi också nämna att en halvering av ljudnivån vid örat inte innebär en halvering av volymen. I allmänhet gäller att:

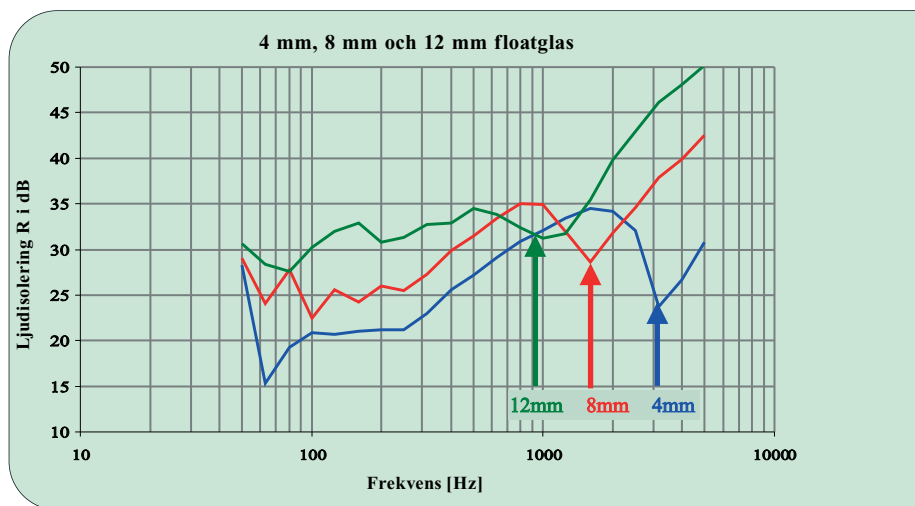
- En skillnad på 1 dB inte är märkbar
- En skillnad på 3 dB är knappt märkbar
- En skillnad på 5 dB utgör en klar skillnad
- En skillnad på 10 dB halverar/fördubblar ljudet.

Olika typer av ljudisolering

Massa

Som vi nämnde ovan sprids ljud i vågor genom att sätta molekylerna i det omgivande mediet i rörelse. På grund av denna spridningsmetod utsätts ljudet för naturlig dämpning – beroende på massan i fråga. Enkelt uttryckt: ju mer massa som placeras mellan sändare och mottagare, desto större är dämpningen.

Det enklaste sättet att öka ljudisoleringen med glas är därför att använda mycket glas. Sålunda har en enkel skiva på 12 mm ett R_w-värde på 34 dB, medan motsvarande värde för en skiva 4 mm glas endast är 29 dB.



Figur 6: Glasstöcklebens inverkan på koincidensfrekvens

Koincidensfrekvens och asymmetri

Om vi jämför spektrumen för 4 mm, 8 mm och 12 mm floatglas ser vi att vart och ett av dessa spektrum har en nedgång i den högra delen.

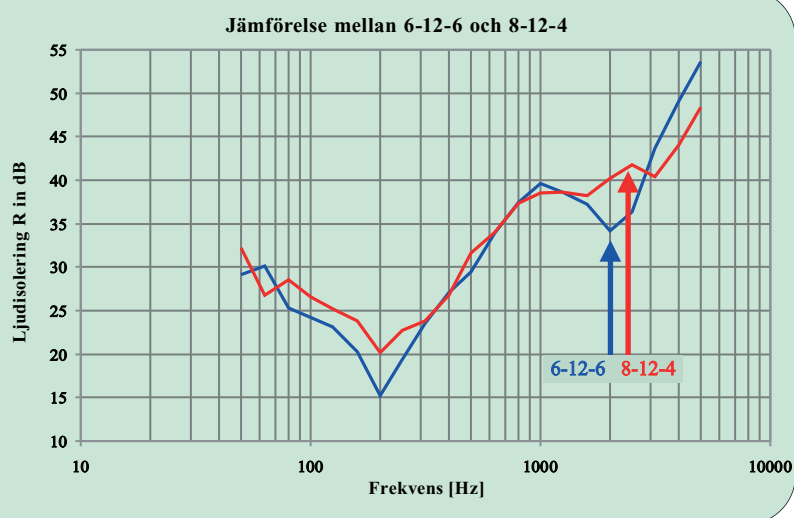
Denna prestandaförsämring vid vissa frekvenser eller koincidensfrekvenser uppstår när frekvensen sammanfaller med produktens naturliga resonansfrekvens. Den så kallade koincidensfrekvensen är materialspecifik och beror på glasets tjocklek. Som tumregel gäller:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

(där d = materialets tjocklek)

Enligt denna formel är f_g 3 000Hz för 4 mm floatglas, 1 500Hz för 8 mm floatglas och 1 000Hz för 12 mm floatglas, vilket stämmer väl överens med spektrum i figur 6.

För att lösa detta problem kan vi kombinera glasskivor med olika tjocklek i isolerruta så att när en glasskiva befinner sig vid sin koincidensfrekvens gör den andra det inte och fortsätter att blockera ljudet. Sådana asymmetriska konstruktioner kan väsentligt förbättra ljudreduktionen i koincidensomfånget, vilket visas i figur 7. En skillnad i tjocklek på 30 % är önskvärd. Detta reducerar inte bara försämringen utan flyttar också upp den på skalan, vilket är en fördel eftersom ju högre frekvensen är desto effektivare reducerar glaset den totala bullernivån.



Figur 7: Asymmetrisk glasuppbyggnad för att minska koincidens

Utrymme mellan glas/gasfyllning

Ett annat sätt att kontrollera bullerspridningen är att variera avståndet mellan glaset. I vanliga isolerrutor optimeras avståndet mellan glaset för att uppnå bästa möjliga termiska prestanda, men avståndet blir då inte tillräckligt stort för att förbättra rutans akustiska prestanda i väsentlig grad. I kopplade fönster kan man ha relativt stora glasavstånd – ett mellanrum på mer än 60 mm ger betydande prestandaförbättringar. Kanterna som skapar utrymmet mellan glasskivorna kan också fodras med akustiskivor för att ge ännu bättre resultat.

Gasfyllnad mellan glaset i en isolerruta har mycket liten effekt. Man uppnår ingen praktisk förbättring med argongas. På grund av densiteten i krypton kan man uppnå en liten förbättring av akustisk prestanda på upp till 1 dB. Svavelhexafluorid (SF₆) skulle kunna användas för ljudisolering, helt enkelt för att det är så tungt. Den ger emellertid två nackdelar: För det första

försämrar den värmeisoleringen och för det andra har den en koldioxidekvivalent på 22 800, vilket gör att den utgör ett extremt stort bidrag till växthuseffekten. Av dessa två skäl är gasfyllning med SF₆ förbjuden över stora delar av Europa.

Som vi nämnt tidigare hjälper det att öka glasets tjocklek för att förbättra bullerskyddet. Olika tjocka glas i en isolerruta förbättrar också ljudreduktionen. Att välja tjockare glas eller stora avstånd mellan glaset kan vara till nackdel på grund av extra vikt och utrymme. Lyckligtvis finns det sätt att förbättra bullerdämpningen för relativt tunna glas genom att skapa en dämpande effekt i själva glaset. Genom att laminera glaset med ett mellanskikt i PVB kan man flytta koincidensfrekvensen högre upp i frekvensområdet där prestandaförsämringen inte är lika stor. Genom att välja Pilkington **Optilam**™ kan man uppnå en betydande förbättring, i synnerhet där ljudnivån skulle vara hög vid koincidensfrekvensen för monolitiskt glas. Isolerrutor kan ge mycket bra resultat med en blandning av monolitiskt vanligt floatglas (Pilkington **Optifloat**™) och Pilkington **Optilam**™.

Vid högre kravspecifikationer välj Pilkington **Optiphon**™. I dessa produkter används speciella bullerdämpande laminatskikt som samtidigt ger säkerheten hos laminerat glas. Om du tittar på ljudkurvan för Pilkington **Optiphon**™ ser du att minskningen i prestanda, vid vad som skulle ha varit en koincidensfrekvens, nästan har eliminerats. Genom att välja rätt produktspecifikation som matchar ljudkurvan kan man uppnå överlägsna prestanda utan att väsentligt öka glasets tjocklek. Detta gör att man kan möta krav på bullerskydd utan att behöva kompromissa med andra funktioner.

Man kan förbättra ljudisoleringen genom att flytta rutans resonansfrekvens till en annan frekvens (från störningsfrekvensen eller till en frekvens som det mänskliga örat inte kan höra lika bra). Detta uppnås genom att koppla samman glas så att glasrutorna blir tunga och mjuka på samma gång. Detta gör vi genom att laminera två glasskivor, antingen med en speciell (mjuk) gjutharts eller ett modernt PVB-skikt som har utvecklats speciellt för detta ändamål.

Viktigt påpekan

Målsättningen med att välja rätt bullerskydd är att göra innermiljön bekväm och fri från den stress som kan orsakas av buller. Nivån på grundbrus är inte samma överallt och det finns nationella riktlinjer för de flesta miljöer. I ett bibliotek bör t.ex. bakgrundsljudet vara ungefär 30 dB och ett sovrum skiljer sig från ett vardagsrum. Noll ljud är inte önskvärt och återfinns bara i anekoiska kammare som normalt endast är avsedda för testning. Noll ljud kan vara en kuslig upplevelse eftersom örat ställer in sig på andra ljud som blir distraherande.

Alltså: Bullerkälla – byggnadens ljuddämpning = grundbrus

Tänk på att hela byggnaden måste fungera och att enbart glas inte kan lösa alla akustiska problem. Ljud behöver bara en liten öppning för att ta sig in i en byggnad. Detta skiljer sig från till exempel energiförlust eller temperaturökning som normalt sker i proportion till ytans storlek. För glas med en bullerdämpning på upp till 35 dB ger en fönster-ram utan ventiler liknande prestanda. Över denna nivå måste man ha fönster som matchar glasets prestanda och är specialutvecklade för bullerdämpning för att hela produkten ska fungera.

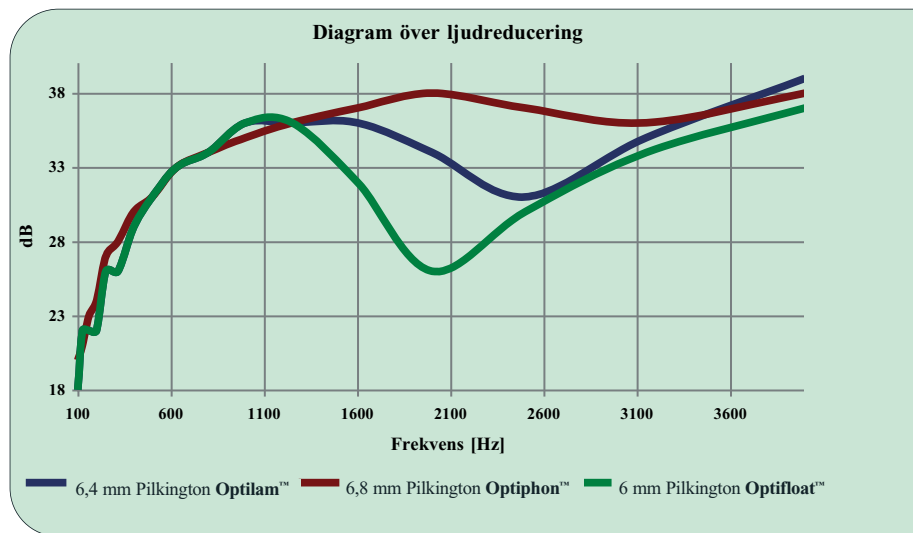
Sammanfattning

Fem faktorer som kan kombineras och har ett positivt inflytande på ljuddämpningen hos isolerglas.

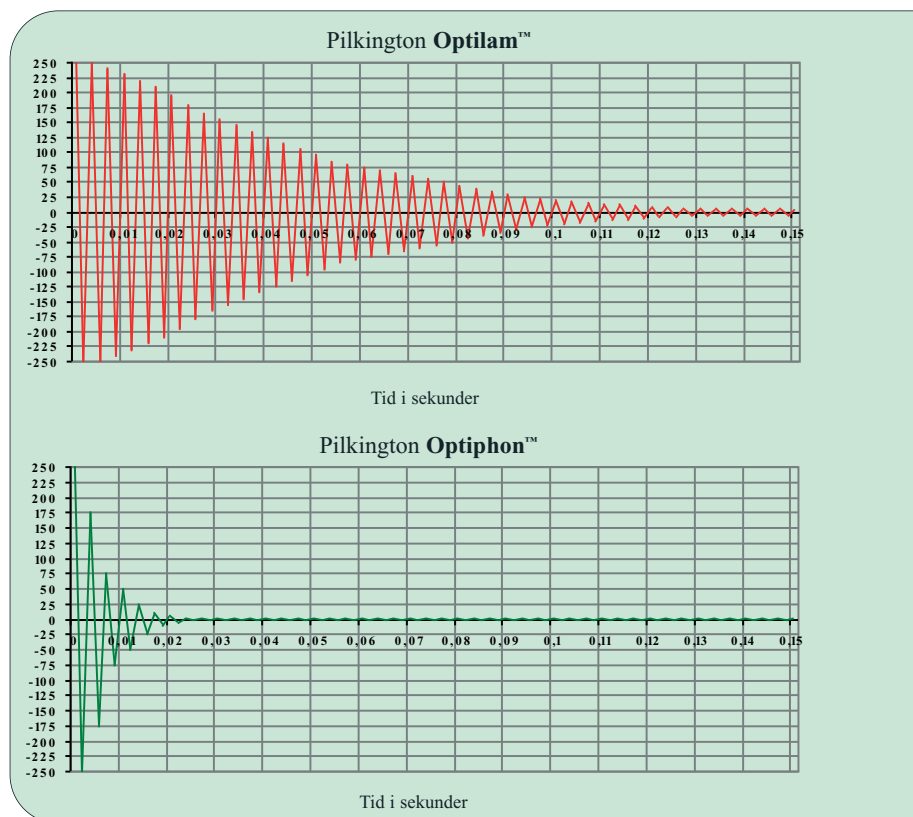
1. Glasets vikt
2. Asymmetrisk uppbyggnad
3. Stort avstånd mellan glasskivor
4. Användning av andra gaser
5. Användning av **Optiphon™** med ljuddämpande laminatskikt eller gjutharts (gjutlamell).

För högre krav på ljudisolering blir moderna ljudisolerande säkerhetsglas som

Pilkington **Optiphon™** allt vanligare, eftersom R_w -värden på mer än 50 dB kan uppnås och de kan levereras i stora format. Kompatibiliteten mellan PVB och andra material är välkänd vilket bland annat innebär att även skyddsglas och säkrare glasning i tak kan levereras med bra bullerskydd.



Figur 8: Illustration av ljuddämpning



Figur 9: Illustrationen visar den imponerande skillnaden mellan Pilkington **Optilam™** och Pilkington **Optiphon™** ur ljudteknisk synvinkel.

Innehållet i denna publikation är framställt efter bästa förmåga. Pilkington Group Limited frångår sig emellertid allt ansvar för fel eller utelämnanden i denna text och alla konsekvenser av att följa anvisningarna i den.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Floatglas AB
Box 530, 301 80 HALMSTAD
www.pilkington.se
info@pilkington.se