



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Støykontroll med glass

Teknisk bulletin

Innledning

Det kan være en søndags ettermiddag og du sitter inne med en god bok. Du har kanskje lagt deg om kvelden eller du er på jobb og forsøker å konsentrere deg, og blir forstyrret av bråkete naboer, trafikk eller annen uønsket støy. Vi er alle utsatt for forstyrrende støy fra tid til annen.

Med økt befolkningstetthet, fabrikkproduksjon og trafikk virker det som om støyen blir verre med færre muligheter til å slippe unna. Sammen med støyøkningen følger større viten om helseeffektene fra stress som forårsakes av hverdagens lyder som trenger inn i det som en gang var stille miljøer. Fremtidens trend tyder på at trafikk og støy generelt kommer til å bli verre etter som våre bo arealer innskrenkes. Det finnes en økende interesse for måter å beskytte mennesker fra støy på for å unngå og i enkelte tilfeller alvorlig sykdom, som støy forårsaker.

Betydelig arbeid er gjort for å kontrollere støyinntrengning i bygninger og mellom tilstøtende områder. Selv om dette er verdifullt, ønsker vi å konsentrere oss om den effekten som riktig valg av glass kan ha når det gjelder håndtering av problemet.

Hva er lyd?

Lyd inngår i bølgefysikk / mekaniske svingninger. Selv for 2000 år siden brukte en romersk arkitekt som drev med konstruksjon av amfiteatre, bølger i vann for å forbedre sin design.



Figur 1: Lyd sprer seg på lignende måte som bølger i vann

Hvis vi for eksempel slår på en stemmegaffel, kan vi høre svingninger, men vi kan ikke se dem. Disse svingningene fra stemmegaffelen overføres til luftmolekyler, som i sin tur viderefører sine svingninger til andre luftmolekyler. Dette mønsteret er synlig i vann.

Svingningene kan sammenlignes med en bølge i vann, med bølgens høyde som et mål på lyd-

styrken, og antallet bølger i et tidsrom er lydens frekvens, dvs. dess flere bølger, dess høyere er frekvensen.

Frekvens defineres som svingninger per sekund eller Hertz. Hertz er den korrekte måten å beskrive frekvens eller tonehøyde på, og betegnelsen forkortes til Hz.

I musikk har noten A (nærmeste A over lille C) en frekvens på 440 Hz eller svingninger per sekund i konsertstemming. Hvis frekvensen fordobles til 880 Hz, øker noten med en oktav.

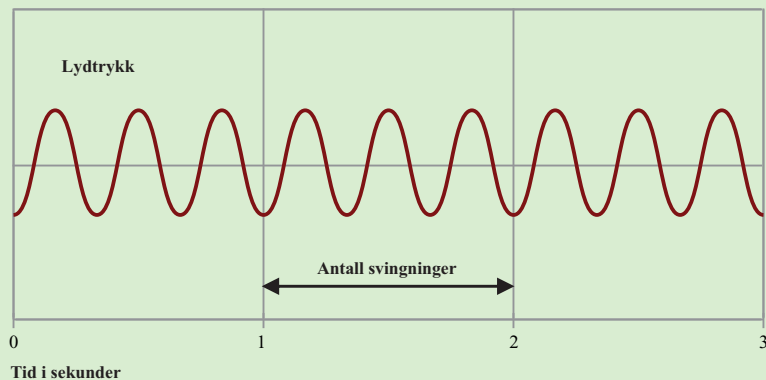
Øret til et yngre menneske kan oppfange frekvenser fra 20 Hz opptil 20.000 Hz og er i stand til å oppfange lydtrykk, eller for å være mer nøyaktig, trykkvariasjoner, på mellom 10^{-5} pascal (Pa) = 0,00001 (laveste hørselsgrense) og 10^2 Pa = 100 Pa (smertegrense), ved at disse videreføres til hjernen som en fornemmelse av lydstyrke.

Med høyere alder reduseres det hørbare frekvensområdet i begge ender av skalaen enten naturlig eller pga. hørselsskade.

Forholdet mellom den laveste og den høyeste lyden er et forhold på 1 til 10 millioner. Siden dette er svært u håndterlig, uttrykkes lydtrykknivået eller lydnivået L som kortform, i praksis som en logaritmisk skala som representerer en omforming av lydtrykket til en mer praktisk måleenhet kjent som desibelskala (dB). Det normale området går fra 0 dB (høreterskelen) til ca. 130 dB (smerteterskelen). Figur 3 viser noen eksempler.

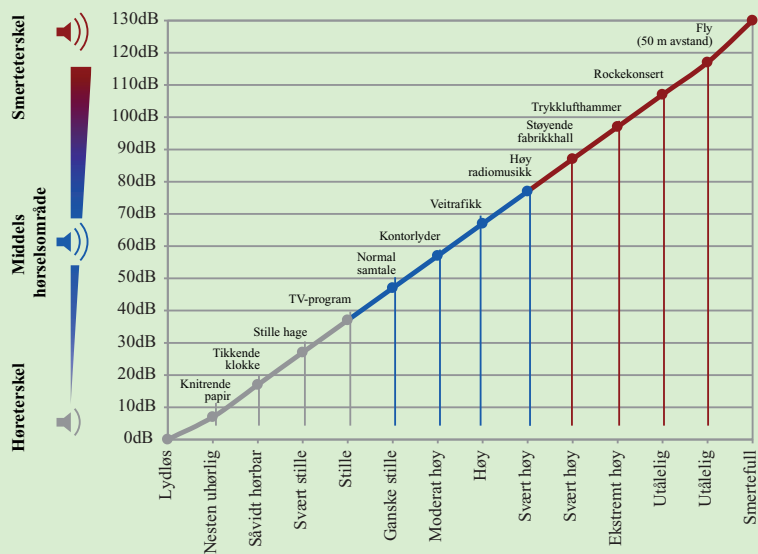
Det finnes en rekke måter å frembringe støy på, og hver form for støy kan produsere ulike lydstyrker på ulike frekvenser. Hvis vi bruker fly som et eksempel, er det en klar forskjell mellom lyden som lages av propeldrevne fly, jetfly og militære fly. Hvis lydstyrken etter frekvens ble merket av i en grafisk fremstilling, ville de se helt forskjellige ut. Når man forsøker å bekjempe støy, kan disse variasjonene tas med i beregningen, og visse typer glass fungerer også bedre på noen frekvenser enn andre. Ved å avpasse glassets ytelse etter støyen, kan vi selektivt redusere de mest irriterende lydene for å oppnå maksimalt resultat. En person som bor like ved en privat flystripe med småfly, har et helt annerledes problem enn en som er nabo med en militærbase. Løsningen på problemet ville være å benytte ulike glasskombinasjoner.

Definisjon av frekvens



Figur 2: Definisjon av frekvens

Støykilde og oppfatning



Figur 3: Støykilde og oppfatning (kilde: Kuraray, Troisdorf)

Et støynivå kan bestemmes på flere måter. For store eller vanskelige prosjekter kan det ordnes med en støyundersøkelse for stedet ved bruk av akustikkonsulenter. De benytter utstyr til måling og beregning av gjennomsnittsverdien av støynivåene etter frekvens, over en tidsperiode. Disse undersøkelsene gir nøyaktige data om støystyrken ved hver frekvens det er nødvendig å redusere. Informasjonen blir ofte gitt i rapporter som analyserer støyen og oppgir den i en tabell som viser oktav frekvenser, f. eks.:

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

Lyden kan måles på stedet, nær støykilden eller med avstand imellom. Der data for området ikke er oppgitt, kan det gjøres en justering av lyden for å ta hensyn til avstanden. Jo lengre du er unna kilden, jo mindre effekt har den.

Eksempel: Støy avtar med avstand

Støy fra veitrafikk avtar med ca. 3 dB når avstanden fordobles i rett vinkel mot veien. Hvis for eksempel L er dB-støynivået ved 5 meter, følger avtakingen dette mønsteret:

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

Støynivået måles ofte over en periode, og gjennomsnittsverdien beregnes for å fjerne effekten av en isolert, høy lyd som for eksempel lyden fra et bilhorn. Et støyenerginivå kan bestemmes ut fra et A vektet gjennomsnitt over lang tid som kalles dag-kveld-natt nivå. (L_{den}) Det er L_{den} støynivået som skal danne grunnlaget for beregningen, ikke isolerte høye lyder. Derfor bør målet være kontroll av generell støy i motsetning til unntakene, ellers blir støyreduksjonskriteriene ekstreme. I noen tilfeller kan det være hensiktsmessig å kun bruke deler av de tre periodene som grunnlag eller en tilleggsindikator for støy som kun inntreffer i en kort periode.

Med støymåleutstyr finnes det noen ganger en mulighet for å registrere dataene med en A-vektlegging. Der innendørs støygrenser er satt, uttrykkes de ofte i dB(A) eller L_{Aeq} . A-vektleggingen er en justering av støyen ved hver frekvens som følger en standardisert kurve. A-vektleggingen er en erkjennelse av at menneskets øre ikke reagerer likt på samme volum ved hver frekvens, dvs. noen frekvenser virker høyere enn andre selv om de genereres med samme energi. Det er viktig at menneskets reaksjon på støy tas hensyn til, i motsetning til at beslutningene tas på grunnlag av sensitive instrumenter som måler lyd på en absolutt måte.

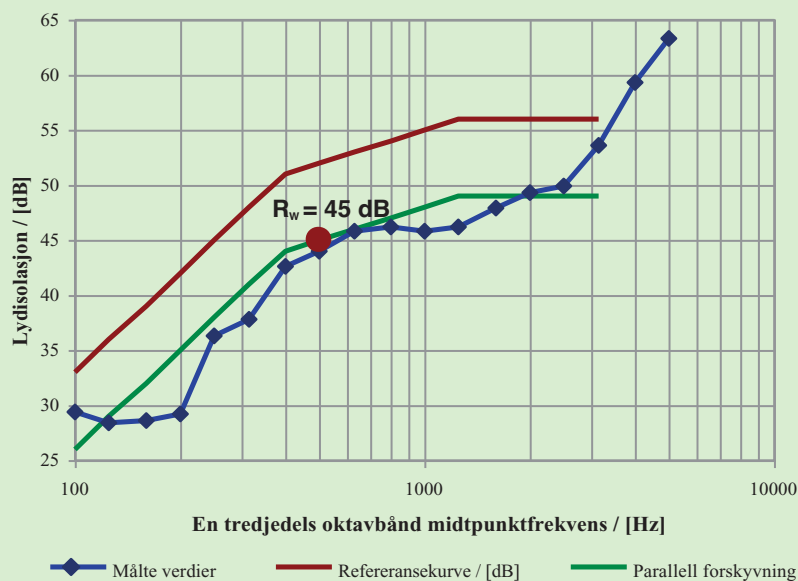
I de tilfeller hvor det ikke foretas en måling, finnes det eksempler på tidligere undersøkelser som gjør det mulig for utviklerne å anta typiske støynivåer fra vanlige støykilder, f. eks. veitrafikk, musikk, tale, tog, fly osv.

Der tredje oktav eller informasjon om oktavbånd ikke er gitt, finnes det en rekke forkortelser som brukes for støyen, typisk kan R_w tallene brukes til å forkorte informasjonen. For glassytelse bestemmes forkortelsene ved at lydreduksjonen avmerkes i en graf etter frekvens og sammenlignes matematisk med standardkurvene til de stemmer overens. Støyreduksjonen ved en fast frekvens på standardkurvene gir R_w tallene.

Når støynivået er kjent, kan glassets egenskaper tilpasses for å få det ønskede nivået reststøy. Det er viktig at måleindeksene er avpasset eller i samme målestokk for å sikre at beregningene er korrekte.

Bestemmelse av lydisolasjonverdi R_w

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



Figur 4: Bestemmelse av lydisolasjon

* tidligere kjent som Pilkington **Optilam™** Phon

For de som gjerne vil gå litt dypere

De målte verdiene for 10 mm

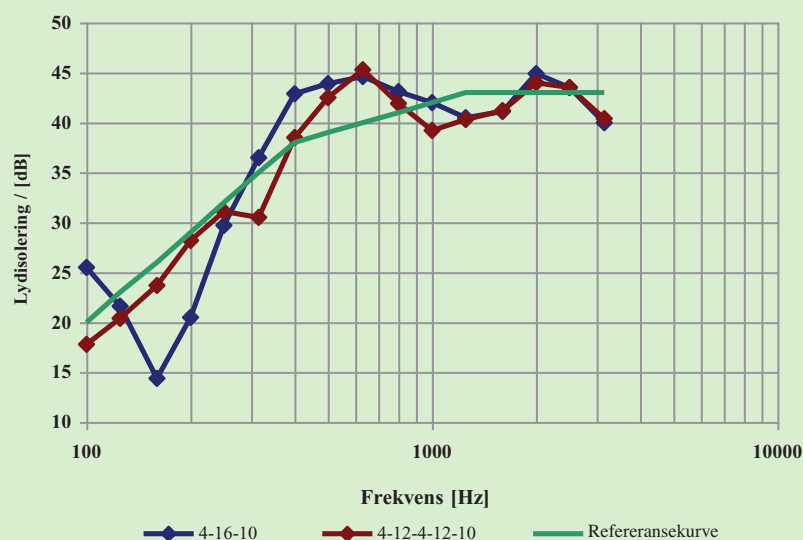
Pilkington **Optifloat™** – 16mm luftmellomrom – 9,1mm Pilkington **Optiphon™** er vist i blått.

Referansekurven spesifisert i EN 717 seksjon 4, er vist i rødt. Denne referansekurven flyttes nå nedover i hele dB, inntil summen av avviket av de målte verdiene fra den forskjøvne referansekurven er maksimert og mindre enn 32 dB. Kun de målte verdiene som er lavere enn referanseverdiene, tas med i beregningen. Y-verdien i denne forskjøvne referansekurven (grønn kurve i fig. 4) ved en frekvens på 500 Hz er den ønskede R_w -verdien, i dette eksemplet 45 dB.

Dessverre er ikke det ovennevnte forholdet mellom lydtryksrekkevidden og den oppfattede lydstyrken så enkelt som forskerne skulle ønske, fordi naturen har gjort vår hørsel mer sensitiv overfor visse lydrområder enn andre. Dette vil si at vi oppfatter en tone på 1000 Hz som høyere enn en tone på 100 Hz, selv om styrken er den samme. Denne egenskapen til det menneskelige øret er det tatt hensyn til i formen på referansekurven.

Sammenligning mellom to isolerglasskombinasjoner der

$R_w = 39 \text{ dB}$



Figur 5: Sammenligning mellom to isolerglasskombinasjoner

Bestemmelse av lydisolering for glasstyper

Siden det ville være tidkrevende og kostbart å måle hvert system på stedet, registreres alle lydisolasjonsspektre under standardiserte betingelser (blå strek i fig. 4). Som vi ser, er lydisolasjon svært frekvensavhengig. For å unngå å måtte arbeide med hele datasettet kan dette diagrammet reduseres til en enkeltverdi. Den standardiserte prosedyren står beskrevet i ruten nedenfor. Resultatet er et enkelt tall – i dette tilfellet $R_w = 45 \text{ dB}$ – som kan brukes i ytterligere beregninger.

Ulempen ved slike spesifikasjoner for enkeltverdier er at vi kan komme frem til samme resultat med helt forskjellige kurveformer, som vist i fig. 5.

Vi oppnår mer betegnende spesifikasjoner for enkeltverdier hvis vi benytter "spesiallagde" referansekurver for spesifikke behov.

Slike “spesialtilfeller” er C og C_{tr} . De tar med i beregningen de ulike frekvensspektrene fra hjemmestøy og trafikkstøy og gjør det på den måten mulig å finne tilfredsstillende løsninger på de aktuelle problemene på en enkel måte.

C-verdien tar følgende støykilder med i beregningen:

- Hjemmeaktiviteter (snakk, musikk, radio, TV)
- Barn som leker
- Jernbanetrafikk ved middels og høy hastighet
- Motorveitrafikk > 80 km/t
- Jetfly på kort avstand
- Forretningsvirksomheter som hovedsakelig slipper ut middels- og høyfrekvent støy

C_{tr} -verdien tar følgende støykilder med i beregningen:

- Trafikk i by
- Jernbanetrafikk med lav hastighet
- Propellfly
- Jetfly på lang avstand
- Discomusikk
- Forretningsvirksomheter som hovedsakelig slipper ut lav- og middelfrekvent støy

Hvis den planlagte bygningen ligger i en by, like ved en hovedvei, vil dermed C_{tr} -verdien være den mest passende. Hvis en bygning er planlagt like ved en motorvei, er C-verdien mer passende.

Beregningsregler

Selv om bruken av dB-skalaen legger til rette for greie, praktiske tall, gir den også rom for noe uvanlige “beregningsregler”. Hvis en støykilde fordobles, stiger den totale dB-verdien med kun 3 dB. En tidobling, dvs. ti elektriske vifter istedenfor én, fører til en økning på kun dobbelt så mye støy, dvs. 10 dB.

For å fullføre forklaringen bør vi også nevne at en halvering av støynivået ved øret ikke oppfattes som halvering av styrken. Generelt stemmer det at:

- En forskjell på 1 dB er ikke praktisk merkbar
- En forskjell på 3 dB er så vidt merkbar
- En forskjell på 5 dB utgjør en klar forskjell
- En forskjell på 10 dB halverer / fordobler støyen.

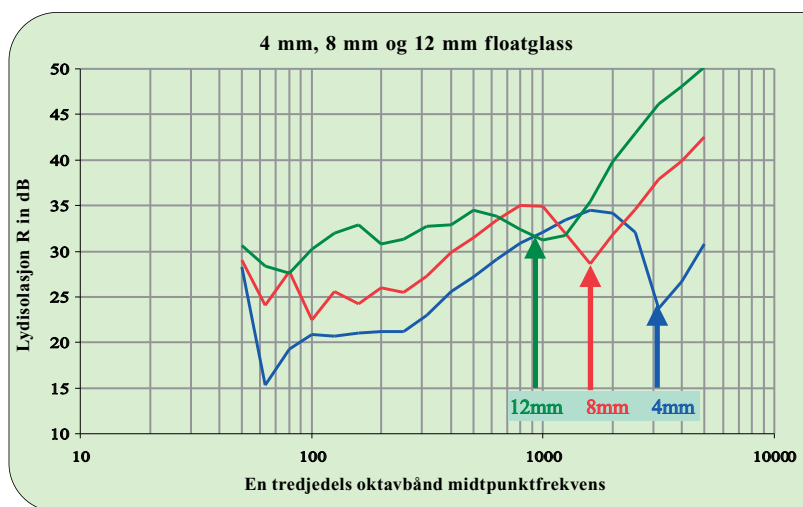
De ulike typene lydisolering

Masse

Som nevnt ovenfor, sprer lyd seg i bølger ved å stimulere molekylene i det aktuelle mediet slik at de svinger. På grunn av denne overføringen er støyen gjenstand for naturlig demping – avhengig av den aktuelle massen.

Enkelt sagt: jo mer masse mellom sender og mottaker, jo større er dempingen.

Den enkleste måten å øke glassets lydisolering på er derfor å bruke mye glass. Et enkelt 12 mm glass har derfor en R_w -verdi på 34 dB, mens den tilsvarende verdien for et 4 mm glass kun er 29 dB.



Figur 6: Hvordan glassets tykkelse påvirker koinsidensfrekvensen

Koinsidensfrekvens og asymmetri

Hvis vi sammenligner spektrene på 4 mm, 8 mm og 12 mm floatglass, ser vi at hvert av disse spektrene har en nedgang i høyre halvdel av diagrammet.

Denne reduksjonen i ytelse ved visse frekvenser eller koinsidensfrekvenser skjer ved den frekvensen som tilsvarer produktets naturlige resonansfrekvens. Den såkalte koinsidensfrekvensen er materialspesifikk og avhenger av glassets tykkelse. Tømmelfingerregel:

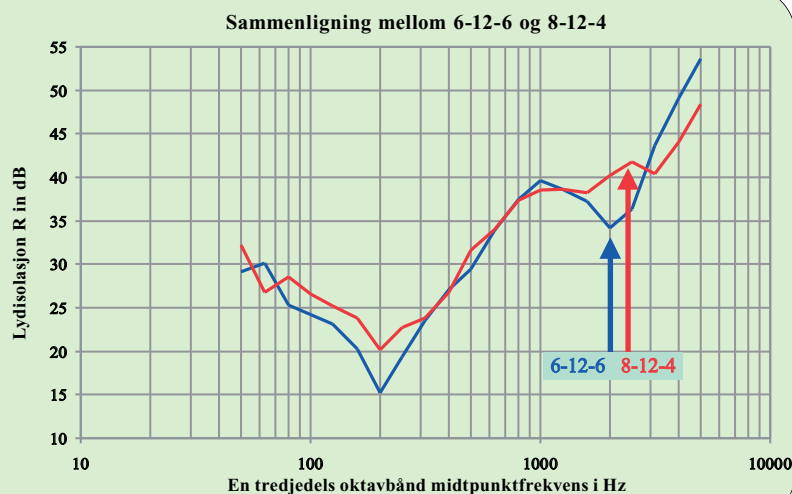
$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

(der d = materialets tykkelse)

Ifølge denne formelen er f_g 3000 Hz for 4 mm floatglass, 1500 Hz for 8 mm floatglass og 1000 Hz for 12 mm floatglass, noe som stemmer meget godt overens med spektrene i figur 6.

For å motvirke dette kan vi variere tykkelsen på glassene i en isolerglassenhet slik at når et glass er i sin koincidensfrekvens, er det andre det ikke og fortsetter med å bekjempe lyden.

Slike asymmetriske oppbygninger kan på denne måten i betydelig grad redusere nedgangen i koincidensområdet, som vist i fig. 7. En 30% forskjell i tykkelse er ønskelig. Ikke bare reduserer dette nedgangen, men det forskyver det også oppover på skalaen. Dette er gunstig, for jo høyere frekvensen er, jo mer effektivt blir glasset når det gjelder å redusere det totale støynivået.



Figur 7: En asymmetrisk glasskombinasjon for å redusere koincidens

Avstand mellom glassene / gassfylling

En annen metode å kontrollere overføringen av støy på er å variere avstanden mellom glassene. Med konvensjonelle isolerglassenheter er avstanden mellom glassene begrenset for å opprettholde optimal termisk ytelse, og mellomrommets størrelse er ikke stort nok til å forbedre den akustiske ytelsen i vesentlig grad. Med koblede vinduer er det en mulighet til å ha relativt store mellomrom, og et luftmellomrom på 60 mm begynner å gi reelle forbedringer når det gjelder ytelsen. Avstanden mellom glassene kan også føres med absorpsjonsmateriale for ytterligere forbedring.

Gassfylling i mellomrommet mellom glassene på en isolerglassenhet (IGU), har marginal effekt, og bruk av argongass gir ingen praktisk forbedring. På grunn av den tettheten som krypton har, kan det oppnås små fordeler i akustisk ytelse på opptil 1 dB. Sulfurheksafluorid (SF₆) kan brukes til lydisolasjon simpelthen fordi den er så tung. Imidlertid har denne gassen to ulemper. For det første forverrer den varmeisoleringen, og for det andre har denne gassen en CO₂-ekvivalent på

22.800 og bidrar dermed sterkt til drivhuseffekten. Av disse to grunnene er SF₆-gassfylling forbudt i store deler av Europa.

Adskillelse / Dempning

Vi har sagt at glassets tykkelse hjelper, og variasjon av glassets tykkelse i en isolerglassenhet er en nyttig måte å forbedre støyreduksjonen på. Av hensyn til vekt og omfang kan det være uhen-siktsmessig å øke produktets masse eller ha store luftmellomrom. Heldigvis finnes det måter å forbedre støyreduksjonen på, ved å gi selve glasset en dempende effekt. Ved å laminere glasset med en vanlig PVB folie kan vi redusere nedgangen i ytelse på grunn av koincidensfrekvensen, og forskyve frekvensen der nedgangen skjer. Hvis et Pilkington **Optilam**[™]-produkt legges til konstruksjonen, kan det gi markert forbedring, spesielt der støynivået ville være høyt ved koincidensfrekvensen for vanlig glass. Isolerglassenheter kan gi meget gode resultater med en blanding av vanlig glass (Pilkington **Optifloat**[™]) og Pilkington **Optilam**[™].

Der det er spesifisert høyere krav har vi Pilkington **Optiphon**[™]. Dette produktet bruker spesielle folier i et laminat samtidig som det gir den støtssikkerheten som vanlig laminert glass gir. Hvis du ser på kurveprofilen for Pilkington **Optiphon**[™], ser du at nedgangen i ytelse ved det som ville ha vært en koincidensfrekvens, er nesten eliminert. Ved å velge riktig type produkt tilpasset lydprofilen kan du få førsteklasses ytelse uten at glassets tykkelse økes dramatisk. Dette gir rom for større fleksibilitet i utformingen uten at du behøver å gi avkall på andre funksjoner.

På venstre halvdel av spekteret ser vi en ytterligere nedgang. Dette er den såkalte resonansfrekvensen. Det er på denne frekvensen komponenten som helhet svinger i resonans og dermed transporterer lydsvingningene spesielt godt, og isolerer dårlig.

Lydisolasjonen kan forbedres ved å flytte resonansfrekvensen til en annen frekvens (bort fra den forstyrrende frekvensen eller dit hvor menneskets øre ikke hører så godt). Dette oppnås ved å "adskille" isolerglasset, ved å lage en glassrute som er både kompakt og myk. Dette kan oppnås ved å sette sammen to glass med modifiserte PVB-folier utviklet spesielt for dette bruksområdet.

Viktig påminnelse

Målet med å velge det rette akustiske produktet er å gjøre innemiljøet behagelig og fritt for det stresset som forbindes med lydnntrengning. Reststøynivået er ikke det samme for alle steder, og nasjonale retningslinjer er utarbeidet for de fleste miljøer. For eksempel skal bakgrunnsstøyen i et bibliotek være ca. 30 dB, og et soverom er forskjellig fra et stueområde. Ingen støy er ikke ønskelig og finnes sjelden andre steder enn i ekkofrie kamre som vanligvis er forbeholdt testing. Ingen støy kan være en uhyggelig opplevelse fordi øret blir mottakelig for andre lyder som blir avledende.

Som en første veiledning blir ligningen slik:

$$\text{Støykilde} - \text{svekking fra bygningen} = \text{reststøy}$$

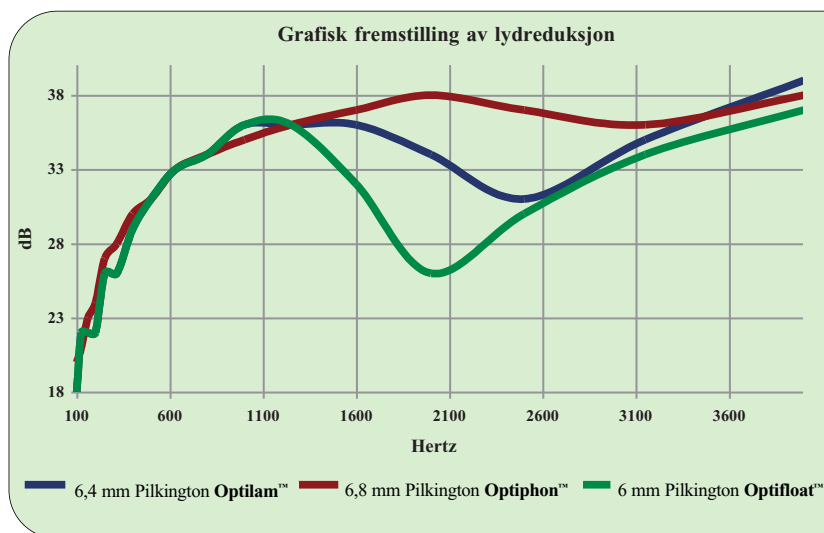
Vær klar over at det er nødvendig at hele bygningen fungerer og at glass alene ikke vil løse alle akustiske problemer. Lyd trenger kun en liten inngangsvei for å trenge inn i en bygning, i motsetning til varmetap eller varmegevinst som vanligvis er proporsjonal med overflateområdet. For støyreduksjon ved hjelp av glass opptil ca. 35 dB vil normale vinduer uten ventiler oppnå lignende ytelse. Over dette nivået må det benyttes vinduer som er utviklet for støyreduksjon tilsvarende glassets ytelse for å sikre at det kombinerte produktet fungerer.

For å oppsummere

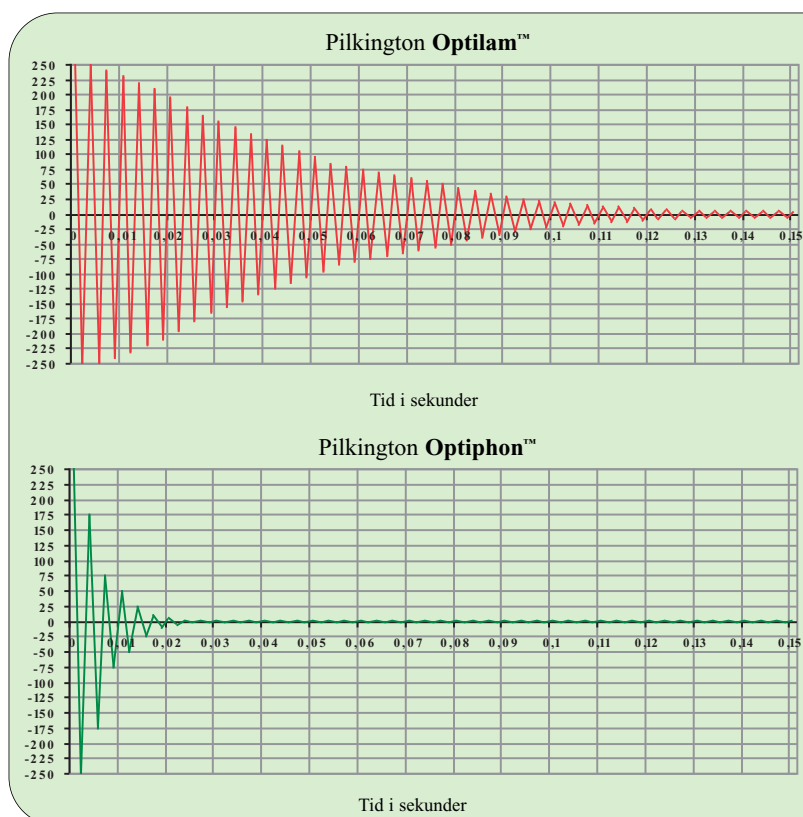
Det finnes fem faktorer som kan kombineres og som positivt kan påvirke lydisolasjonen i isolerende glass.

1. Glassmasse
2. Asymmetrisk oppbygging
3. Stor avstand mellom glassene
4. Bruk av alternative gasser
5. Bruk av spesiallaminerte sikkerhetsglass.

For de høyeste kravene til lydisolasjon er lydisolierende, laminerte sikkerhetsglass produkter, slik som Pilkington **Optiphon™**, i ferd med å bli stadig mer utbredt. Grunnen til dette er at det kan oppnås R_w -verdier på opptil 50 dB, og de kan leveres i store formater. Det er vel kjent at PVB er kompatibel med andre materialer og har sikkerhetsfordeler som beskyttelse mot støt og gjør det sikrere å bruke glass i tak.



Figur 8: Illustrasjon som viser lydreduksjon



Figur 9: Illustrasjonen viser den imponerende forskjellen i demping mellom Pilkington **Optilam™** og Pilkington **Optiphon™** fra et lydteknisk synspunkt.

*Dette dokumentet ble utarbeidet og presentert i god tro. Pilkington Group Limited frasier seg herved
alt ansvar for enhver feil i dokumentet og konsekvenser av feil som kan oppstå på bakgrunn av det.*



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

info@pilkington.no
www.pilkington.no