

ATT ARBETA SOM AKUSTIKER
SEDAN 70-TALET

GLESSAMPLING AV LJUDFÄLT I RUM-TID VÄL
UNDER NYQUIST-GRÄNSEN

SKAPA GOD LJUDMILJÖ
FÖR ÄLDRE

LJUDBLADET

EN MEDLEMSTIDNING FRÅN SVENSKA AKUSTISKA SÄLLSKAPET NR 1 2020

WINDOWS AND UNITS OF
FOURIER TRANSFORMS

LJUDPRISET 2019

ACOUSTIC BLACK HOLES

LJUDÅTERGIVNING I SMÅ RUM

RECONSTRUCTION OF THE SOUND
FIELD IN VADSTENA ABBEY DURING
LATE MIDDLE AGES

WAVEBREAKER - A NEW INNOVATIVE
INTERFERENCE SOUND DAMPER FOR
RAILWAY NOISE

Innehåll

NR 1 2020

3 Ledare

Ordförande Hans har ordet

5 Att arbeta som akustiker sedan 70-talet

Utsaga om hur yrket och branschen utvecklats på ett halvt århundrade

8 Windows and units of Fourier transforms

The most fundamental tool in sound and vibration analysis

11 Glessampling av ljudfältet i rum-tid väl under Nyquist-gränsen

Metod för att återbygga komplexa ljudfält trots minskning av antalet mikrofoner

12 Skapa god ljudmiljö för äldre

Hur bör vi tänka för att skapa trivsam ljudmiljö för äldre

14 Svenska Akustiska Sällskapets ljudpris 2019

14 Ljudåtergivning i små rum

Föredrag av Mendel Kleiner planerat för Ljuddagen

15 Reconstruction of the sound field in Vadstena abbey during Late Middle Ages

Giving the modern visitor the experience of an original liturgy in an abbey

17 Wavebreaker – A new innovative interference sound damper for railway noise

Building houses close to railway tracks demands new solutions of a growing health issue

23 Acoustic black holes

Acoustical study at Volvo Group Truck Technology

Organisationsnummer 802464-7755

Plusgiro 32 08 56 - 8

Bankkonto Nordea 3202-209 3739

IBAN 29 3000 0000 0320 2209 3739

SWIFT NDEASESS



www.akustiska-sallskapet.org



[@akustik_swe](https://twitter.com/akustik_swe)



[company/svenska-akustiska-sallskapet](https://www.linkedin.com/company/svenska-akustiska-sallskapet)



info@akustiska-sallskapet.org

Svenska Akustiska Sällskapet

Ändamålet med Svenska Akustiska Sällskapet (SAS) att anordna föredrag, diskussioner samt att med andra åtgärder verka för akustikens utveckling. SAS bildades den 1 mars 1945 och har alltså långa traditioner att försvara.

SAS har för närvarande ca 225 medlemmar inkl. 13 stödmedlemmar. Vi arbetar nu målmedvetet på att höja ambitionsnivån för att dels få fler medlemmar och dels ge varje medlem mer valuta för medlemsavgiften.

Medlemsavgifter 2020

Ordinarie medlemsavgift inkl LjudBladet (2 nr/år) och Acta Acustics on line: 500:-

Medlemsavgift för pensionär: 250:-

Studering: gratis (LjudBladet endast i pdf-format)

Stödmedlemskap för företag: 3.500:-/år inkl 1 st medlem

Annonspriser 2020

Hel sida färg: 5.500:-/nr

Halv sida färg: 3.500:-/nr

Styrelse 2020

Hans Bodén, Ordförande, hansbod@kth.se

Torbjörn Kloow, Kassör, toby@acoutronic.se

Claes Hedberg, claes.hedberg@bth.se

Delphine Bard, delphine.bard@construction.lth.se

Karl Bolin, kbolin@kth.se

Krister Larsson, krister.larsson@ri.se

Maria Quinn, maria.quinn@ecophon.se

Valberedning 2020

Anders Schönbeck, Mats Åbom

Revisorer 2020

Björn Tunemalm, Peter Pettersson

LJUDBLADET NR 1 2020

ISSN 1403-2317

Grafisk form Christoffer Leijon, CC Design & Media

Teknisk produktion Allduplo Offsettryck AB

Ansvarig utgivare Hans Bodén KTH, 100 44 Stockholm

Det finns få aspekter våra liv som inte har påverkats avseende den pågående Covid-19 pandemin. Jag hoppas att våra medlemmar inte har drabbats hårt av sjukdomen på det personliga planet. I våra yrkesliv är det många som har en förändrad situation och arbetar hemma eller kanske är permitterade. Vi på KTH arbetar i huvudsak hemma och sköter möten, undervisning och examination online.

Om vi tittar ut i världen har det här förekommit nyhetsinslag om hur mycket renare luften har blivit i vissa storstäder och runt flygplatser. Förmodligen har det också blivit mycket tystare.

I förra numret av LjudBladet skrev jag om att vi planerade för aktiviteter i samband med att 2020 av ICA deklarerats som "International Year of Sound (IYS 2020)". Detta har fått skjutas på framtiden på grund av den rådande situationen.

Många internationella konferenser har senarelagts eller kommer att hållas som e-konferenser. Bland annat har BNAM 2020 i Oslo som skulle ha hållits 4-6 maj 2020 flyttats till 3-5 maj 2021. En faktaruta med situationen för ett antal andra internationella konferenser finns på baksidan av detta nummer av LjudBladet.

Ännu fram i slutet på februari planerade vi för att hålla vårt årsmöte och Ljuddag på plats i Göteborg 17/3 men Coronavirusets snabba spridning och beslutet att avråda från resor gjorde att Ljuddagen fick senareläggas. Vi planerar att arrangera Ljuddagen till hösten, förhoppningsvis på plats i Göteborg, men som alternativ online. Då kommer Svenska Akustiska Sällskapets Ljudpris för 2019 att delas ut till Professor Emeritus Mendel Kleiner, Chalmers. Detta

nummer av LjudBladet innehåller en kort text om ljudpristagaren samt en sammanfattning av det föredrag som han planerar att hålla på Ljuddagen. Priset för bästa examensarbete gick till Da Cao från KTH för ett arbete med titeln "Modelling of the vibrational behavior of housing plates filled with fibrous material" som utfördes på Scania.

En annan nyhet från årsmötet är den nya sammansättningen av styrelsen som nu består av:

- Hans Bodén, ordförande
- Karl Bolin, ledamot
- Krister Larsson, ledamot
- Torbjörn Kloow, ledamot, kassör
- Delphine Bard, ledamot
- Maria Quinn, ledamot (ny)
- Claes Hedberg, ledamot (ny)

Två personer har beslutat sig för att lämna styrelsen: Anna Färm och Juan Parra och jag vill tacka dem för deras insatser som styrelseledamöter.

Jag hoppas som vi alla att saker och ting ska återgå till det normala så snart som möjligt och att vi kan se på Ljuddagen i Göteborg till hösten.

Hans Bodén

E-post: hansbod@kth.se
Mobilnummer: 070-694 49 62



Vill du som medlem dela med dig av något intressant, nytänkande eller något du vill ta upp för diskussion?

LjudBladet vänder sig till akustiker inom ett brett spektrum av olika specialiteter. Tidningen når drygt 200 medlemmar och utkommer två gånger om året. Skicka en artikel som du vill publicera till info@akustiska-sallskapet.org

INNOVATIVE SOUND INSTRUMENTATION MADE IN NORWAY



Jag är ombedd av SAS att skriva/kåsera om hur förhållanden i arbetet som akustiker har ändrats under åren. Det är en märklig insikt att vara en av de äldre i branschen idag. Jag började arbeta 1972 efter studier vid LTH. Mitt intresse för akustik startade under tonåren med elektroakustik och musik. När jag sedan mötte ämnet Byggnadsakustik inom VoV var jag fast.

Det finns personer jag mött under åren som betytt mycket för mig. Jag skulle kunna räkna upp många, men det blir en annan historia. Därför nöjer jag mig med att nämna Stellan Dahlstedt Akustik-Konsult AB, Göran Gadefeldt Akustikbyrå AB och Stig Ingemansson Ingemanson Ingenjörbyrå. Det var tre mycket kunniga och banbrytande herrar med var sitt konsultbolag inom akustik. De har skapat grunden för den akustikverksamhet vi har i Sverige idag.

Det fanns en omfattande utbildning inom byggnadsakustik på KTH, CTH och LTH. Någon finns kvar. Andra har ändrats och någon har kommit till, som LuTH. Inom byggnadsakustik har utbildningarna och forskningen minskat radikalt då forskningsfinansieringen har fokuserats mot verkstadsindustrins behov. Inom rumsakustik finns idag knappt något kvar. Uppgiften inom högskolevärlden är nu att fånga studenternas intressen och övertyga dem att akustik i alla dess former är roligt, lönsamt och personligt utmanande/utvecklande att arbeta med. Ni inom SAS håller säkert med.

Den största negativa förändringen, när det gäller utbildningen i byggnadsakustik, är att undervisningstiden i akustik för arkitekter har dragits ner och t.o.m. försvunnit helt. Inom bygg- och rumsakustik där jag mest har arbetat är det ett stort bakslag att arkitekternas kunskap i akustik har minskat avsevärt.

När det gäller byggnadsakustik är det fascinerande att notera att krav inom akustik i bostäder har funnits så länge man skrivit byggregler. De senare som tex SBN 67 (den grå) och nästa från 72 (första röda) har ungefär samma krav på luftjudsisolering och stegljudsnivå som idag, men med det ursprungliga frekvensomfånget 100-3150 Hz. På 70-talet byggde man trots det flerbostadshus där alla visste att det var lyhört. Akustiken fick därför styra förändringar i bostadsbyggandet. Betongtjocklekar ökade i bjälklag och väggar för att nå de uppställda kraven. Vi började på 14-16 cm betong i bjälklag med sandfyllning till nuvarande 25 cm. Det kom redan i slutet av 70-talet. Likaså väggar som gick från 12 cm lägenhetsskiljande till 20 cm under samma tidsperiod. Trots det var husen lyhörda!

Andra problem vi mötte var vatteninstallationer som brusade kraftigt i de platsgjutna betongstommarna. Öppnade någon en kran hörde alla det. Husen byggda under 60-talet kunde

vara bättre och äldre hus med tegelstommar var ännu bättre. Däremot var ventilationen oftast tyst i äldre hus. Självdrag låter inte och de bredbladiga lågvarviga frånluftfläktarna i en murad kammare på vinden var tysta. Med högvarviga fläktar och högre tryck på 70-talet kom ljudstörningarna.

Vi som arbetade med akustik på den tiden var inte speciellt involverade i bostadsbyggande utan mer i kommersiella lokaler. Där var det vanligt att vi blev inblandade med ett stort ansvar för akustiken tillsammans med A och K. Jag arbetade för Stellan som ägnade mycket tid åt att utveckla de första stora öppna kontorslandskapen i Sverige. Vi arbetade med alla stora försäkringsbolag som skulle sitta i öppna landskap. Vi utvecklade tidningsredaktionerna som också skulle sitta öppet. Och presshallarna med tryckpressarna. Vi gjorde kyrkor, samlingslokaler, hörsalar, skolor, arméns skolor, kontor, musiklokaler, konserthus, filmhus, biografier, livsmedelsindustrier, större restauranger och många fler typer av verksamhetslokaler. Vi fick oftast en roll som sidokonsult i projekten tillsammans med A, dvs en position i projektet där vi kunde påverka. Arkitekterna kunde en hel del akustik, så det gick att forma mer avancerade lösningar i projekten. På den tiden var A projektledare och hade total kontroll. De speciella personer som idag kallas projektledare fanns inte.

I dessa projekt hade vi som akustiker en betydelsefull roll och levererade handlingar som andra projektörer, beskrivningar och ritningar, inte bara principunderlag till andra eller enbart programkrav. Vi gjorde handlingar som motsvarar bygghandlingar med lösningar i detalj.

Det fanns inte anpassade produkter eller lösningar att tillgå med dokumenterade akustiska egenskaper.

Undertaksföretagen hade precis börjat med en tvekan om deras produkter skulle efterfrågas. Ett av dem bildades som dotterbolag till mineralullstillverkaren. De omsatte 1972 några miljoner. Idag är det en världskoncern med miljarder i omsättning och har lett utvecklingen av materielen i världen under alla år.



Vi konstruerade själva lösningar och mätte egenskaper för att rita in i projekten. Det var ett detaljarbete som inte behövs idag när vi har tillverkare med bra dokumentation i de flesta fall för produkter som kan byggas in.

Ett eftersatt område var ventilation. De lämnade data endast ner till 125 Hz. Trots att branschen tidigt enades om en mätstandard. Vibrationskrafter fick vi aldrig och de saknas än idag. Enligt min mening fattas fortfarande mycket information från företagen med ventilationsprodukter, men det har blivit bättre. I kombination med en god erfarenhet går det att sätta samman ett ventilationssystem med bra akustik. Problemet är att bristen på dokumentation gör att vi måste ta till större marginaler. Det kostar mer men än har ingen skällt på mig för att det blivit för tyst.

Vi hade krav i kontor på högst 40 dBA ventilationsbuller. I storkontor skulle det vara 45 dBA varken mer eller mindre. Det var inskrivet i Byggnormen. Skälet var att man följde den amerikanska erfarenheten och ville lägga ett maskerande brus över arbetsplatserna för att minska överhörningen. I de flesta fall kunde vi dimensionera ventilationssystemet så att det lät på det sättet. Problemet var att få en karaktär på ljudet som folk accepterade. Vi gjorde omfattande studier och tester med folk och fann att ett medelstort vattenfall hade bäst karaktär. Det faller 8 dB per oktav och har inga stora avvikelser från linjen. Fattas en oktav blir folk mer störda.

Sådana storkontor ritas fortfarande i till exempel USA, England och Tyskland, länder där vi medverkat i projekt. Vi har lyckats få dem att släppa kravet på 45 dBA. (I Sverige försvann kravet från Boverket på 80-talet om jag minns rätt.) Det är väldigt tröttsamt att sitta i den ljudnivån. Ni har säkert hört talas om den lättnad man kände när ventilationen stängdes av eller då man gick ut från kontoret. Vi är nere på 35 dBA i krav idag i kontor. Enligt min mening är den nivån godtagbar om karaktären är rätt. Men den påverkar och tröttar.

Vi hade inte heller beräkningsprogram. På LTH var jag och

en kursare först på högskolan att använda en dator för att räkna luftljudsisolering i vårt examensarbete. Den programmerades med hålremсор. I mina kommande arbeten såg jag till att skaffa beräkningshjälpmedel, men kapaciteten blev inte speciellt användbar förrän på andra hälften av 90-talet. Om man inte arbetade vid en forskningsinstitution. Så vi handräknade. Teorierna var kända och matematiken

praktiskt tillämpbar. Standarderna fanns med internationell samordning. Inom Akustik-Konsult ägnade vi mycket tid åt ISO och SIS.

Hur gick det med bostäderna? De var fortfarande lyhörda in på 90-talet. Fatbursområdet i Stockholm bebyggdes på 80-talets mitt med platsgjutna bostäder i betong. Väldigt likt dagens hus. Stockholms utredningsinstitut USK, följde upp kvaliteten i dessa bostäder genom att söka upp familjer som bott i dem, flera år efter de flyttat. De fick då frågor om sina minnen positiva och negativa från bostaden de haft i Fatbursområdet. Tydliga minnen som dominerade svaren var negativa; fläktbuller inomhus, trafikbuller, lyhört osv. Så fram till dess hade det inte skett någon

förändring av akustiska kvaliteten sedan 60-talet.

Förändringen kom inte förrän på 90-talets andra hälft, efter det att vi gått med i EU och fått deras byggdirektiv att leva efter. Och en form för ansvar inom byggverksamheten som mer liknar Tysklands och Hollands. Länder med krav på ansvar och certifierad byggleddare gentemot samhället. Det

är ofta arkitekterna som innehar den rollen i dessa länder.

Då kom också krav på kontroller genom mätningar och rapporter till samhällets kontrollorgan. Samtidigt blev kommunerna tvingade att bygga upp en tillräcklig kunskap och kapacitet. De stora kommunerna gick före.

Kontroller av akustiken i

bostäder och i andra projekt visade att utförandet var bristfälligt. Materialet fanns där i form av tillräckligt tjock betong mm, men utförande i detalj förstörde slutresultatet. Flera entreprenörer fick lära sig den dyra vägen. Det tog åtminstone fem år innan man lärt sig detaljutförandet så att



projekten för det mesta blev godkända i stommarna. Enligt min erfarenhet är vi nu inne i 2000-talets början och håller på att forma bostäderna så att de motsvarar kraven från 1972. Vi är ännu inte där. Installationer brister mycket än idag.

Det som också hände i 90-talets början var att familjerna skaffade sig sub-woofers och hemmabio. Det gjorde att kraven ner till 100 Hz inte var tillräckliga. De räckte när den bästa hifi-anläggningen var en radio med två st 8" högtalare och öppen baksida, så som de såg ut på 50 och 60-talet.

Nu utökades mätområdet ner till 50 Hz, vilket skapade ett behov av utveckling av de lätta delarna i ett bostadshus med betongstomme. Att betongen var tillräcklig visste man inte eftersom kontrollfunktionerna inte fungerade. Det fanns flanktransmissioner i fasader, schakt, överhörningar, sammanfogningar mm som förstörde.

Under 90-talets andra hälft har vi akustikkonsulter fått mycket mer att göra inom bostadsbyggande. Så typen av uppdrag har förskjutits mot bostäder. Det beror ju också på att det byggs mer bostäder nu än för 20-30 år sedan. Men det fattas fortfarande mycket kunskap och produkter för att

akustiken skall bli tillräckligt säker och bra i projekten.

Nya material kommer i branschen. Vi bygger på platser som man alltid undviktit tidigare nära järnväg och nära trafikleder. Det är en utveckling som ställer nya krav på utförandet och krav på ny kunskap.

Jag brukar säga att ett hus är korrekt konstruerat akustiskt om det inte behövs några speciella tillägg. Det material och de produkter som ett hus formas av skall också ge rätt akustik. Det gör det om materialet används på rätt sätt och huset/rummet är rätt ritat.



Lennart Karlén

Civilingenjör SVR, Akustik
ACAD-International AB
lennart.karlen@acad.se

Lennart Karlén
Medlem i SAS sedan 1972.

Störs du av trafikbuller?

Du är i så fall i gott sällskap av 2 miljoner andra svenskar. I takt med ökad urbanisering är buller ett växande problem. Därför har HIAK utvecklat NonSonus FLV-65.

NonSonus FLV-65 är en högteknologisk väggmonterad friskluftventil med unikt bra ljuddämpning. Avancerade akustiska lösningar har paketerats till en produkt som i extremt bullrig miljö ger en bibehållen god boendemiljö.

För mer information, www.hiak.se



HIAK har mer än 60 års samlad kompetens, erfarenhet och kunskap som gör att vi idag är experter på ljuddämpning. Det gör oss till er självklara partner gällande akustiska utmaningar och innovationer. Våra ingenjörer består av Sveriges främsta experter inom ljuddämpande lösningar och konstruktioner.



HIAK
CUSTOMIZED NOISE REDUCTION

The Fourier Transform is a fundamental tool in numerous signal processing applications, and it is extensively used in sound and vibration analysis. The Fourier Transform is, particularly in terms of the Discrete Fourier Transform (DFT), defined for sampled signals and is generally computed using the computationally efficient FFT (Fast Fourier Transform) [1]. The Fourier transform $X(f)$ of a signal $x(t)$ that is a function of time t has the unit [Unit] and is given by [2]

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

Here f is frequency in Hz, the signal $x(t)$ is absolutely integrable [2] and $X(f)$ has the unit [Unit*s]. In reality measurements are made of different physical phenomenon. We might for instance measure the sound or vibration of a gear box or a turbine at a power plant [1]. In general we only consider segments of the measured signal in our analyses of it or we have only made the measurement during a part of the physical phenomenon's time duration. If we have carried out a measurement of the vibration $x(t)$ from $t=0$ to $t=T$, we get the measured signal:

$$x_m(t) = w(t)x(t)$$

Here $w(t)$ is a rectangular window, defined as [2]:

$$w(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

The Fourier transform of the measured signal $x_m(t)$ is given by:

$$\begin{aligned} X_m(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x_m(t)e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)x(t)e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \int_0^T w(t)x(t)e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-\infty}^{\infty} X(\alpha)W(f-\alpha)d\alpha \end{aligned}$$

Where $W(f)$ is the Fourier transform of the rectangular window. In other words the Fourier transform of the measured signal is given by the convolution between the Fourier transform of the signal $X(f)$ and the Fourier transform of the window function $W(f)$. To represent a frequency function in a computer where we have a limited numerical resolution we use the discrete Fourier transform. The discrete Fourier transform of the sampled version $x(n)$ of the continuous-time signal $x(t)$ is given by [2]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn/N}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

Where n is the discrete time, N is the block length, k is an integer related to the actual frequency as $f_k = kF_s/N$ Hz where F_s is the sampling frequency in Hz.

The Fourier transform of a continuous-time signal $x(t)$ may be approximated with the Discrete Fourier Transform of the sampled version $x(n)$ as

$$X(f_k) = \int_0^T w(t)x(t)e^{-j2\pi f_k t} dt \approx \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-j2\pi kn/NT_s}, \quad NT_s = T$$

Here T_s is the sampling time interval in seconds, $T_s = 1/F_s$, and $w(n)$ is the discrete-time version of the window. This is basically a Riemann sum approximation of the Fourier integral. Consequently, this also results in an approximation with the **appropriate unit!!**

When measuring physical quantities, equipment like the sensors, amplifiers, A/D converters, etc all introduce noise to the acquired signal [1], and the phenomena themselves may as well already have random behaviours. This in turn generally requires that frequency analysis of the acquired signal should be based on a **statistical approach** to enable spectrum estimates having sufficiently low **bias errors** and **variance**, and accessible **statistical confidence** [1,3].

The selection of an adequate **spectrum estimator** for producing an estimate of a spectrum depends basically on the signal content type, e.g. if it is periodic, random or transient [1,3,4,5].

A periodic signal is characterised by a discrete power distribution in the frequency domain, while a random signal has a continuous power distribution in the frequency domain, and a transient signal has a continuous energy distribution in the frequency domain [1,3,4,5]. Estimates of spectra are generally based on so-called **Periodograms**, defined as [3]:

$$P(f) = \frac{1}{T} |X_m(f)|^2 = \frac{1}{T} \left| \int_0^T w(t)x(t)e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$

The unit of a periodogram is [Unit²/Hz]. Hence, a periodogram is related to the power or energy in a signal. In terms of the DFT the **Periodogram** may be approximated as [4]:

$$\begin{aligned} P(f_k) &\approx \frac{1}{T} \left| \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-j2\pi kn/N} \right|^2 T_s^2 \\ &= \frac{1}{F_s N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-j2\pi kn/N} \right|^2 \end{aligned}$$

To estimate spectra for periodic, random and transient signals Welch's method [4] may be utilised. The Welch spectrum estimate is obtained by averaging a number of periodograms (time averages) to obtain consistent estimates [4]. Each periodogram is based on a segment $x_l(n)$ of a signal $x(n)$ that consists of N samples. In Fig. 1 the green line is the signal $x(n)$ and $l=1, 2, \dots, 10$ illustrates signal segments used for producing periodograms windowed with a Hanning window.

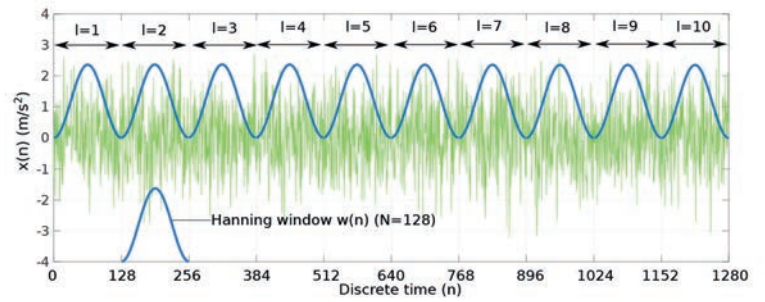


Figure 1: Signal $x(n)$, green line, and $l=1, 2, \dots, 10$ illustrates signal segments used for producing periodograms windowed with a Hanning window, blue line.

For random signals the proper spectrum estimator is the power spectral density estimator and the Welch power spectral density estimator (double-sided) is given by [4]:

$$\hat{P}_{xx}^{\text{PSD}}(f_k) = \frac{1}{F_s L N U_{\text{PSD}}} \sum_{l=1}^L \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_l(n) w(n) e^{-j2\pi kn/N} \right|^2,$$

$$f_k = \frac{k}{N} F_s$$

where $k=0, 1, \dots, N/2-1$, L is the number of periodograms, N is the length of the periodogram, F_s is the sampling frequency and U_{PSD} is the **window-dependent effective analysis bandwidth normalisation factor** defined as:

$$U_{\text{PSD}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (w(n))^2$$

An appropriate window for random signals is provided by the Hanning window [3] and the unit of the power spectral density estimate is [Unit²/Hz]. For periodic signals the proper spectrum estimator is the power spectrum estimator and the Welch power spectrum estimator (double-sided) is given by [5]:

$$\hat{P}_{xx}^{\text{PS}}(f_k) = \frac{1}{L N U_{\text{PS}}} \sum_{l=1}^L \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_l(n) w(n) e^{-j2\pi kn/N} \right|^2,$$

$$f_k = \frac{k}{N} F_s$$

Here U_{PS} is the **window-dependent magnitude normalisation factor** defined as

$$U_{\text{PS}} = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=0}^{N-1} w(n) \right)^2$$

An appropriate window for random signals is provided by the Flattop window [5] and the unit of the power spectrum estimate is [Unit²]. Finally, for transient signals the proper spectrum estimator is the energy spectral density estimator and the Welch energy spectral density estimator (double-sided) may be expressed as:

$$\hat{P}_{xx}^{\text{ESD}}(f_k) = \frac{1}{F_s L N U_{\text{PSD}}} \sum_{l=1}^L \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_l(n) w(n) e^{-j2\pi kn/N} \right|^2 NT_s,$$

$$f_k = \frac{k}{N} F_s$$

Here a **rectangular window** should be used (no windowing). Thus, N is selected to include the complete transient, a signal segment is **not cut out**, and **no windowing** is carried out [5]. The unit of the energy spectral density estimate is [Unit² *s²].



Lars Håkansson

Professor
Linnéuniversitetet
lars.hakansson@lnu.se



Claes Hedberg

Professor
Blekinge Tekniska Högskola
claes.hedberg@bth.se

References

1. L. Håkansson, The Fourier Transform in Sound and Vibration, IJAV-International Journal of Acoustics and Vibration, 20(4), pp. 190-190, 2015. Editorial
2. A.V. Oppenheim, A.S. Willsky with S.H. Nawab, Signals & Systems, 2nd ed. Prentice Hall, 1996.
3. J. S. Bendat, A. G. Piersol, Random Data: Analysis and Measurement Procedures, 4th Edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2010
4. P.D. Welch. The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, pp. 70-73, June 1967.
5. Anders Brandt, Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures, John Wiley & Sons, Inc, 2011.



efterklang:

PART OF AFRY

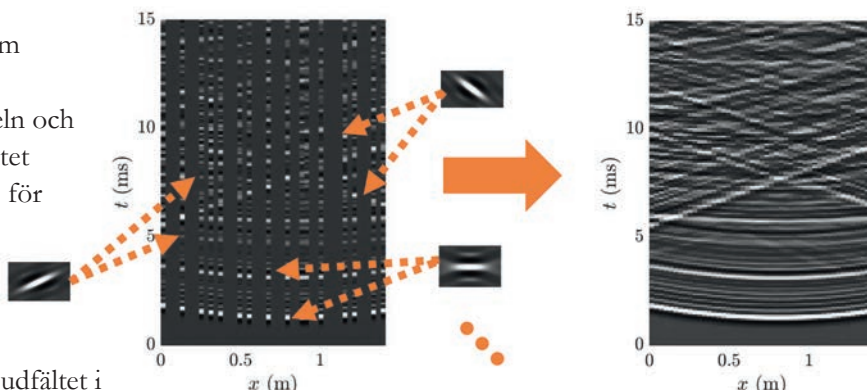
Vi är ett av världens ledande kompetenscentra inom rådgivning, design och projektering av akustik, ljud och vibrationer. Med över 120 akustikkonsulter, arbetar vi brett med akustik inom bygg, industri, samhälle och produktutveckling. Vi vill nu utmana och utveckla den traditionella akustikbranschen!

Vi är Efterklang™.

efterklang.se

GLESSAMPLING AV LJUDFÄLTET I RUM-TID VÄL UNDER NYQUIST-GRÄNSEN

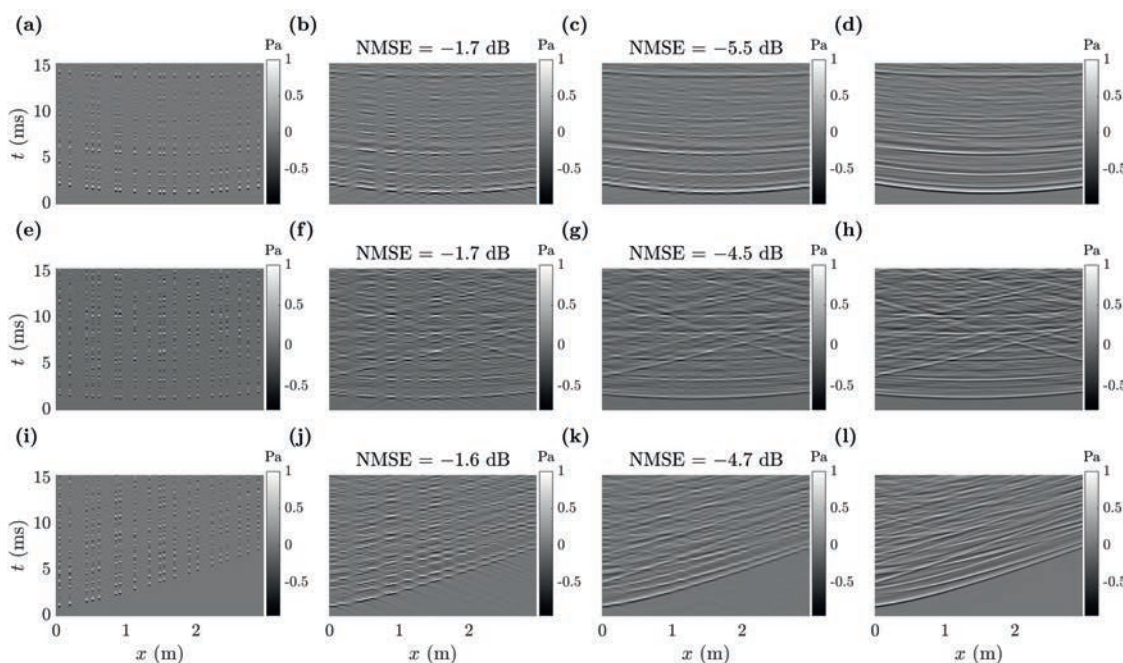
Glessampling är en metodologi som återuppbygger signaler från få sampel. Denna presentation visar hur glessampling kan minska antal mikrofoner som används till mätningar i vardagliga rum, med komplexa egenskaper och innehåll som möbeln och fönster [1]. För att kunna approximeras ljudfältet används det en gles representation som kallas för "shearlets" [2], populära i neurovetenskap och bildbearbetning. Eftersom shearlets kan approximeras singularitet i 2D på ett optimalt gles sätt, kan de användas för att approximeras akustiska vågfronter i rumtid. Ljudfältet i ställe där mikrofonerna inte finns förutsägas genom att interpolera med shearlet element (se principen i Figur 1).



Figur 1. Vänster: Interpolation av ljudfältet i rumtid med shearlet element. Höger: Referens ljudfältet.

Metoden prövas med experiment i tre olika rum på KTH: två lärosalar och ett konferensrum. Referensmätningarna görs med 100 mikrofoner, och de samplas om vid 80% under Nyqvists ursvalsfrekvens: d.v.s. bara 20 mikrofoner används för att återuppbygga ljudfältet vid 100 positioner. Figur 2 bevisar en jämförelse mellan linjär interpolation och den föreslagit metoden med shearlets. Linjär interpolation ger ett resultat som liknar referensen litegrann, men det finns starka

aliasing effekter på grund av undersamplingen. Shearlets ger ett resultat mycket mer liknande till referensen, med små lågpasfilter effekter där distansen mellan mikrofonerna är för lång. Det viktigaste budskapet ifrån dessa resultat är att man kan med denna metod minska antal mikrofoner och ändå noggrant återuppbygga ljudfältet i komplexa akustiska miljöer.



Figur 2. Interpolation av ljudfältet i tre olika rum (rader) [1]. Kolumn 1: Undersamplad ljudfält (20 utav 100 mikrofoner). Kolumn 2: Linjär interpolation. Kolumn 3: Shearlets. Kolumn 4: Referens ljudfältet.



Elias Zea
Postdoktor
MWL, KTH
zea@kth.se

Referenser

- [1] E. Zea, "Compressed sensing of impulse responses in rooms of unknown properties and contents", Journal of Sound and Vibration 459, 114871, 2019.
- [2] G. Kutyniok, D. Labate, "Shearlets: Multiscale Analysis for Multivariate Data", Springer, London, 2012.

Sverige och hela västvärlden står inför en demografisk förändring med ett ökat antal äldre personer. Seniorbostäder och äldreboenden måste nu vara duktiga på att förstå hur design- och tillgänglighetsfrågor påverkar ljudmiljön och akustiken.

Låt oss börja inuti kroppen - vad är det som händer i det åldrande örat? Det är flera fenomen som sker gradvis, de tre benen i mellanörat (hammare, städ, stigbygel) stelnar och blir inte lika flexibla i sin rörelse. I innerörat (snäckan) får vi en förlust av hårceller och de påverkar vår uppfattning av ljud speciellt på diskanttonerna. Det är just här det mänskliga talet finns och vi är speciellt beroende av att kunna uppfatta konsonanter för att förstå innebörden i talet. Konsonanterna bär på informationen, vokalerna skapar talets ljudvolym. Det är därför man bör stå mitt emot den äldre personen med nedsatt hörsel så att ditt direktljud når mottagarens öra utan omvägar och personen kan läsa på mina läppar. Det är också önskvärt att vi inte har för höga bakgrundsljud som riskerar dränka vårt tal.

Ljudnivåer vilket skapar allt annat än ett trivsamt utrymme att umgås i och samtala med andra. Sådana oönskade ljud (buller) kan för en dement person vara förvirrande och leda till frustration, ångest och social isolering.

Personer med demens kan också ha svårt att skilja mellan samtidiga sensoriska stimuli och bli förvirrade av detta [2]. På ett demensboende kan det leda till att personen tror att det ljud som pågår utanför det egna rummet pågår inne i rummet. I förvirringen kan det leda till att de tror att någon objuden tagit sig in eller försöker komma in, vilket skapar ångest och rädsla. Ljudisolering mellan boendes rum och korridor bör vara prioriterat i designprocessen.

att enda bullergränshörselskada är optimala v

Våra sinnen samverkar med varandra så när både syn och hörsel försämras kan man inte göra som man har gjort tidigare, nämligen att använda ett sinne för att förstärka ett annat! Vi kan se på läpparnas och tungans position vilket ljud munnen försöker forma men om synen har försämrats är det svårt att ta till den hjälpen som en förstärkning.

Tänker vi tillräckligt på vilken ljudmiljö vi skapar när vi designar och projekterar senior- och äldreboenden?

Hur ser behovet ut?

Designen bör syfta till att hjälpa människor att intuitivt orientera sig i ett rum, erbjuda en god och stöttande ljudmiljö, visuellt vara enkel att förstå och bjuda in till umgänge och underlätta kontakt med andra människor. Men vi bör även ta höjd för att en relativt stor andel äldre personer kommer att drabbas av demenssjukdom vilket påtagligt förstärker deras behov av genomtänkta, väl designade utrymnen!

Demens påverkar ofta en persons förmåga att filtrera ljud och man kan bli extra ljudkänslig. Ny forskning [1] har visat en negativ koppling mellan demens och hörselnedsättning. I rum med många ljudkällor eller där flera samtal pågår samtidigt kan äldre ha svårt att uppfatta vad som sägs. Något som vi alla säkert upplevt, oavsett ålder, på restauranger med ogenomtänkt akustik! Hårda ytor som glaspartier och många golvtyper reflekterar ljudvågorna och bidrar till lång efterklang och höga

Hur skapar vi så goda förutsättningar som möjligt kring ljudmiljön?

Hur ska vi då bygga och designa? Ta hjälp av en akustiker för att förstå bättre hur olika åtgärder kan påverka ljudmiljön. Rent rumsmässigt är det en god idé att undvika kala, rakt motstående väggar då ljudvågorna inte har någonstans att ta



Endast klara gränser för är inte att bygga vårdmiljöer

vägen utan studsar mellan väggarna. Dessa reflexer stör vår taluppfattbarhet. Om möjligt bygg rummen

oregelbundet för att diffusera ljudvågor och rikta dem bort från ljudkällan. Använd bokhyllor, oregelbundna väggdekorationer eller ljudabsorberande väggpaneler för att diffusera ljudvågorna. God ljudisolering både mot korridor och mellan de boendes rum är viktigt inte bara för en god nattsömn utan

för att undvika förvirring kring intrång i det egna rummet.

Planera byggnaden så att ljudliga aktiviteter skiljs från tystare. Konvexa former, till exempel på receptionsdisk hjälper till att diffusera ljudvågorna liksom rundade hörn och pelare. Mjukare golvmaterial dämpar uppkomst av trummljud (fotsteg) och stoppning i möbler fungerar som en absorbent vilket bidrar till mer dämpad och lugn omgivning. För att uppmuntra till utevistelse bör skapa gemensamhetsområden utomhus, med skydd från väder och vind, som lämpar sig för samtal.

Ljudabsorberande undertak bör användas för att sänka ljudnivån och vi bör ha en medvetenhet om hur hårda, reflekterande ytor påverkar akustiken. Hygienkraven på sjukhus går utmärkt att uppfylla med utvalda undertak! Glas används flitigt då det ger ett öppet intryck och önskvärt ljusinsläpp - tänk då på att komplettera med extra absorption och diffusorer i dessa områden men också på hur förvirrande glans och ljusreflexer kan vara för en person med utvecklad



Vad kan vi själva göra? En bra start är att vi talar till personen i fråga rakt framifrån samt försöker begränsa bakgrundsljud, exempelvis påslagna tv-apparater som är igång utan att någon egentligen tittar, i gemensamhetsområden. Tala lite långsammare än vad du normalt gör och använd något förstärkt röst. Att ta i från tårna och höja rösten i diskantlägena hjälper föga, bättre är att försöka sänka tonläget något.

- Ljudabsorberande undertak skapar en lugn miljö och förbättra talets tydlighet
- Skapa avskilda tystare platser för paus och lugn
- God ljudisolering krävs mellan korridorer och sovrum
- Skilj ljudliga aktiviteter från tysta
- Ljud kan fungera som positiva och lugnande, såsom porlande vatten, fågelsång

Ljudmiljön påverkar vårt umgänge och att inte kunna delta i samtal förstärker en ohälsosam utanförskapskänsla hos personer med nedsatt hörsel

demens. Ställ också ordentliga ljudkrav på exempelvis automatiska dörröppnare och signalsystem. Beställaren av ett vårdboende kanske inte alls har kunskap om den komplexa ljudmiljön och dess påverkan på de boende. Att "endast" klara bullergränser för hörselskada är inte att bygga optimala vårdmiljöer.

Referenser

- [1] Frank R. Lin et al. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. JAMA Intern Med. 2013;173(4):293-299
- [2] HBN 08-02. Dementia-friendly health and social care environments. Design principles for dementia-friendly environments in new healthcare buildings, and in the adaptation or extension of existing facilities. 2015.

Intresserad av att veta mer om ljudmiljö i vårdlokaler?
Kontakta Maria Quinn, Konzeptutvecklare Vårdmiljö
maria.quinn@ecophon.se



Maria Quinn

Saint-Gobain Ecophon AB
maria.quinn@ecophon.se

SVENSKA AKUSTISKA SÄLLSKAPETS LJUDPRIS 2019 MENDEL KLEINER

Professor emeritus Mendel Kleiner Chalmers har tilldelats Svenska Akustiska Sällskapets Ljudpris 2019 för sina mångåriga framstående insatser inom forskning och undervisning främst inom områdena rumsakustik och elektroakustik.

Mendel Kleiner fick sin civilingenjörsexamen i elektroteknik 1969 och sin doktorsexamen i byggnadsakustik 1978 båda från Chalmers tekniska högskola. Han var universitetslektor på Chalmers mellan 1980 och 1995 och blev docent 1989. Från 1995 fram till sin pensionering 2013 var han professor på Chalmers med undantag för en period mellan 2003 och 2005 då han var i USA på Rensselaer Polytechnic Institute, RPI, i Troy, NY, U.S.A., som ansvarig för ett utbildningsprogram inom Architectural Acoustics.

Mendel Kleiner har även efter sin pensionering fortsatt med forskning inom rumsakustik, akustisk mätteknik, elektroakustik och audioteknik, musikakustik, och ljudkvalité. Han är författare eller medförfattare till fyra böcker och har skrivit mer än 130 vetenskapliga artiklar.

Mendel Kleiner (Chalmers)
mendel.kleiner@chalmers.se

Detta är en sammanfattning av det föredrag som Ljudpristagaren 2019, Professor emeritus Mendel Kleiner planerar att hålla på Svenska Akustiska Sällskapets Ljuddag

I dag kommer jag att tala om ljudåtergivningen i små rum och hur vi lyssnare bedömer god kvalité. Vad förväntar vi oss när vi lyssnar till återgivning av röst och musikinstrumenters ljud i små rum? Det är vanligt att man betraktar förhållandena för låga frekvenser resp mellan och höga frekvenser på olika sätt.

Ljudåtergivningen via högtalare i små rum bestäms inte bara av rummets akustiska egenskaper utan också av anpassningen mellan högtalare och rum liksom högtalarnas direktivitet i förhållande till rummets ljudabsorberande och diffuserande ytor.

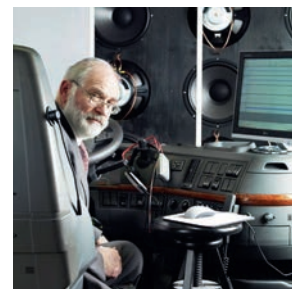
Vid låga frekvenser styrs återgivningen av högtalarens egenskaper i förhållande till rummets akustiska svängningsmoder: Dipol- resp monoplhögtalare kommer att excitera moderna olika. Ofta fungerar dipolhögtalare som rumsdiffusorer t ex.

Samtidigt är det så att egenskaperna vid mellan och höga frekvenser styrs av rumsgeometrien, ytornas akustiska egenskaper, högtalarnas direktivitetsegenskaper och placeringen av högtalare och lyssnare. För- och nackdelar i denna situation är enklare att analysera än för låga frekvenser eftersom man i viss utsträckning kan styra riktningen på ljudutstrålningen (åtminstone genom val av högtalare) men samtidigt mer komplicerad genom att hörsels upplösning i frekvens och tid är bättre vid höga frekvenser.

LJUDÅTERGIVNING I SMÅ RUM

Ljudet från musikinstrument och röst karakteriseras av riktverkan, ett brett frekvensinnehåll, toner och brus samt dessas modulation på många sätt. Små rum och korta lyssningsavstånd gör god ljudreproduktion svår att uppnå i små rum.

Omedvetet påverkas vi också i vår lyssning av vad vi vet, av våra synintryck och av vad vi känner med kroppen. Även om vi inte förväntar oss liknande intryck vi lyssning till reproducerat ljud som till originalet är, som vi intuitivt vet, sådan påverkan på den upplevda ljudåtergivningskvaliteten svår att undvika.



Mendel Kleiner

Professor emeritus
Chalmers tekniska högskola
mendel.kleiner@chalmers.se

HISTORICAL BACKGROUND

It is the 14th century and pilgrims visit the Vadstena abbey, the motherhouse of the Birgittine Order situated on Lake Vättern in south Sweden. The abbey is a double abbey consisting of brothers and sisters, an unusual but not unique solution in the middle ages, which as result gives a varied and rich liturgical observance. Inside the church, pilgrims are immersed in the chants of the ongoing Birgittine liturgy, which should continue endlessly, an *officium perpetuum*, as intended by Saint Birgitta. The nuns sing from their raised platform in the middle of the main nave, while the monks from their semi-enclosed lower choir in the apse. The nuns from their elevated platform fill the space of the church and its fifteen cross vaults with the *cantus sororum*, the only office liturgy that ever had been compiled to be performed only by women. The brothers observe the diocesan liturgy, in this case from Linköping cathedral. Brothers and sisters, who never meet each other, perform their liturgies in succession and thus forming one theological unit in a so-called *greater liturgy*. They never sing together except for vespers in the hymn *Ave maris stella*. Pilgrims experience the liturgy inside a fenced perimeter where several altars and chapels are located. Textile ornaments, carpets, wall paintings and religious artefacts surround them.

ON-GOING PROJECT

This audio-visual experience, which each participant lived in their different role during the Birgittine liturgy, belongs now to the past as Vadstena abbey of the 21st is a different place than what it was 700 hundred years ago.

At the Division of Engineering Acoustics at LTH we are participating in a multidisciplinary research project called

“give the modern visitors the experience of an original liturgy in the historical Vadstena abbey using a virtual replica of the church, computer simulations and audio recording”

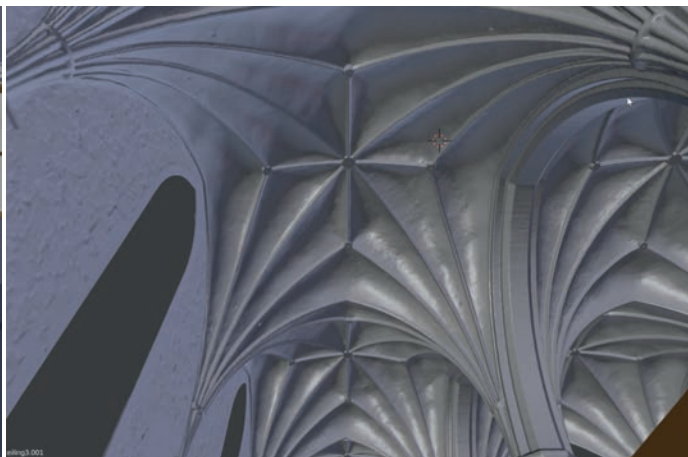
“The multisensory Vadstena Abbey during late middle ages”, driven by the Department of Art Sciences of Uppsala university. The project belongs to a wider network, “Extraordinary Sensescapes: The sensual world of late medieval nuns”. Its scope is developing “new technology facilitating total-immersion virtual-reality reconstructions of Birgittine liturgy and architecture for scientific exploration, scholarly exchange and public engagement”. Multidisciplinarity juxtaposes humanists, historians, scientists, engineers, designers, artists, and performers. Collaborations between them are an interesting aspect of the project.

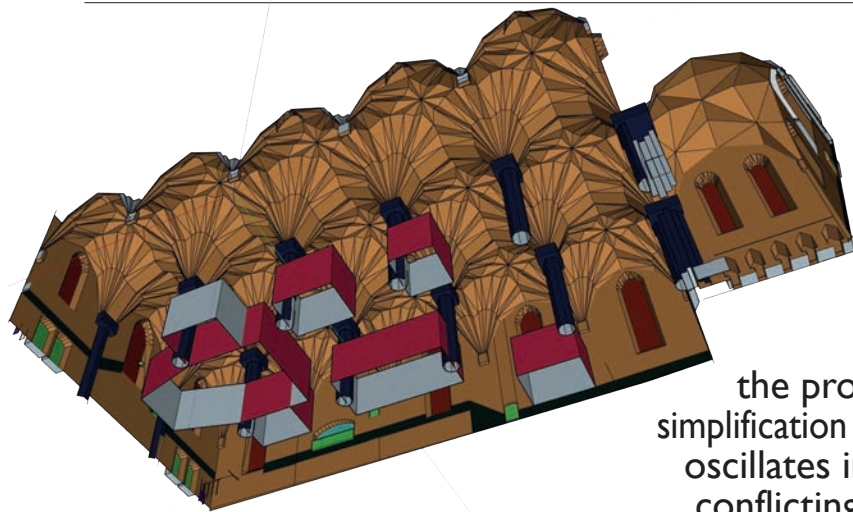
Our role as acoustic engineers is to give the modern visitors the experience of an original liturgy in the historical Vadstena abbey using a virtual replica of the church, computer simulations and audio recordings.

CHURCH MODEL AND ITS SIMPLIFICATION

A sound field in a room depends on the room’s geometry, on the acoustic properties of the materials in the room and on the spectral and spatial characteristics of the sound sources. Our acoustic model is based on a 3D reconstruction of 15th century Vadstena Abbey. This reconstruction is built upon a laser-scanning of today’s church. Historians have identified historical objects, such as altars, and architectural elements, such as the nuns’ elevated platform, that should be included in the historical virtual replica.

Such a 3D reconstruction is extremely detailed, rich in information for historians and humanists but not a useful model for room acoustics calculations. High level of detail implies high number of very small surfaces in the model. The number of surfaces must be drastically reduced for ray tracing and hybrids methods, as implemented by commercial software, to successfully estimate impulse response functions.





the process of simplification of the model oscillates in between conflicting interests

The process of simplification of the model oscillates in between conflicting interests: on one side, the will to understand how architectural elements and furnishing influence the sound field, and in particular how nuns, monks and pilgrims would hear the liturgy from their distinct locations; on the other side, the necessity to have a model providing reasonable and trustable results.

Simplifications are therefore compromises. Vaults are simplified to rough polygonal surfaces maintaining their concave shape; chapels lose their complex geometry to become acoustically semi-transparent surfaces that can be thus met by many rays which will be absorbed, reflected and scattered.

The next step is assigning absorption and scattering to all surfaces in the model. Scattering is estimated via educated guesses. Absorption is obtained either from previous comparable measurements or from new ones conducted specifically for this project.

ABSORPTION COEFFICIENT OF TEXTILES

Historians informed us that fabrics and clothing of nuns, monks and priests were part of the liturgy. Therefore, we



have decided to measure their absorption coefficient according to ISO 20189. Vadstena museum provided us with a replica of a nun in typical height and wearing summer cloths, which we measured inside the museum verifying that diffuse field conditions were fulfilled. The same measurement was not possible for priests and

monks, but we were able to measure the fabrics exposed at the museum.

CALCULATIONS, ANECHOIC RECORDINGS AND AURALIZATION

The impulse response at discrete points in the church may now be computed. Then, one can calculate standard room acoustic quantities and, therefore, describe quantitatively the acoustics of the church at various locations.

To let the modern visitor have an historical experience of the *Birgittine liturgy*, we will record a choir. This recording will be performed in the anechoic room at LTH and will consist of a portion of the liturgy for Friday

sext, where both the brothers' and sisters' liturgies will be heard. In this recording liturgical items such as antiphons, hymns, psalmody, text declamation will sound. Sonic events such as turning pages in books, rustling of cloths, footsteps

recordings are then convoluted with the calculated impulse responses to create an aural impression of the acoustic characteristic of the church

will also be recorded to add three-dimensionality and realism to the overall sound picture.

Singing in an anechoic environment is a challenging task. We are evaluating measures to mitigate that, such as let singers listen to their own voice filtered through artificial reverb.

These anechoic recordings are then convoluted with the calculated impulse responses to create an aural impression of the acoustic characteristic of the church. It will be then possible to experience the *Birgittine liturgy* closer to how nuns, monks and pilgrims used to 700 hundred years ago.

How did sisters' voices sound at the brothers' choir? Were pilgrims able to understand the liturgies or did their intelligibility get lost reflection after reflection? We are looking forward to answering to such questions.



Delphine Bard

PhD, Docent, Department of Construction Sciences
Lund University
delphine.bard@construction.lth.se



Mathias Barbagallo

PhD, Department of Construction Sciences
Lund University
Brekke Strand Akustik AB
mathias.barbagallo@construction.lth.se
mba@brekkestrand.se

WAVEBREAKER – A NEW INNOVATIVE INTERFERENCE SOUND DAMPER FOR RAILWAY NOISE

Tony Johansson (Wavebreaker AB)
info@wavebreaker.net

ABSTRACT

Train noise is an increasing problem in society and actors are looking for better solutions. The reason for the increasing noise problem is due to new residential buildings, intensified traffic, longer and faster trains causing rising investments in more and higher noise screens and barriers. The problem is global. EEA (European Environment Agency) reported, for example, recently that at least 12.000 people in Europe die each year prematurely due to noise. The conclusion is that the problem is increasing, noise screens are getting more costly and higher and, up to now, no new technical solution has been available on the market. A new type of sound damper for urban train noise, that can be used for both new railway projects and existing noise problems, is under development. It uses acoustic interference technology, based on the well-known Quincke-effect, and is used and mounted as an additional product on top of the noise screens. The sound damper reduces the noise propagating over and above the noise screens and acts as if the screens were about 1-1.5 m higher. This effect mean that noise screens could be built lower or performance could be enhanced without making the screen as obtrusive as a higher screen. Also, non-reachable demands could be reached, both acoustically and economically. The use of Wavebreaker is forecasted to cost about 25% of an increased height of a standard screen. This article presents the function of the interference sound damper, compares the analytical optimization studies made in Actran and full-size laboratory tests on a prototype. The results show that an overall train noise reduction of 4-6 dB is obtainable due to the development work aiming at tuning the sound damper to a general railway noise spectrum. Furthermore, as the sound damper is designed in a modular way, adapting the noise reduction spectrum is possible in the future by changing the acoustical insert, e.g. tuning of different traffic noise spectra. Further steps in the development process are a pilot study with field measurements and a ready-to-use documentation for acoustic planners. All is made possible due to cooperation with SL (Stockholm public transport) and Trafikverket (Swedish Transport Administration), and financial support by InfraSweden2030 and Vinnova.

Ecophon Focus™ Levels

Ljudabsorption i olika nivåer



1 INTRODUCTION

Today there is a lack of new solutions on the market for the increasing problem of traffic noise from trains and vehicles. Trafikverket noise specialists conclude e.g. that they do not know what will be the decisive noise situation from trains but they know that the traffic will increase, the trains will be longer and they will be faster causing rising investments in more and higher noise screens. Community noise and measures to reduce it tend often to be about noise screens and increasing the height of noise screens which many times result in negative landscape effects as “corridors” and shadow effects. The cost of noise reduction by higher screens increase exponentially with height due to the necessary foundations. Sometimes the costs for noise screen for a few houses are defined as non-defendable society cost leaving these residents without measures and with noise above regulated limits.

No new promising technologies have been available to counteract the trend of more noise, higher costs and higher noise screens. In addition, with high-speed trains planned in Sweden, even higher noise levels and more challenges for noise screening are assumed to come. Based on this, a development of a new interference sound damper for train noise started. The aim was to optimize the sound damper for a general train noise spectrum and reaching insertion loss of 3-5 dB.

Noise reduction through interference is well-known as the Quincke-effect since 1866. But only a few practical applications to free field propagation exist today. Looking back at the 80's there were promising investigations in Japan using interference as noise reduction for traffic noise. Some interesting reports using interference for traffic noise damping were published in the JSME bulletin [1] and former work. The authors investigated the use of an interference sound damper device, based on a pending patent, placed on top of noise screens, for all types of ground-borne traffic noise. A few field tests were made up to the early 90's, in Japan and in Europe, with field results showing around 2-4 dB reduction within 50-100 m from source, but the sound dampers and the results were soon forgotten. Reasons are unknown but perhaps it was a combination of performance, market conditions, costs and/or production challenges.

Stig Ingemansson, the founder of Ingemansson Ingenjörbyrå, investigated the use of interference for fresh air ventilators in order to reduce low-frequency traffic noise in 1982 [2]. This is one of a few practical applications investigated in the Nordic area for traffic noise.

2 DEVELOPMENT OF AN INTERFERENCE SOUND DAMPER FOR TRAIN NOISE

2.1 Basic interference acoustics

The basic theory of interference is well-known as described in for instance [2]. In the simplest form, interference is

created by adding another sound path L2 (where L1 is the shortest path) with a length which is an uneven multiple, n , of the half wavelength of the frequencies that are in focus.

$$f = n \times \frac{c}{2(L_2 - L_1)} \quad (1)$$

Adding more sound paths, the distribution of discrete frequencies can be organised in a way that a more broadband damping can be achieved [2].

Designing channels for the interference damper one should also relate to other basic formulas described in [1] and in the former reports of the authors. Here it is stated that the operating frequency range is governed by geometrical design, where the channel length defines the lower frequency limit and the dimensions of the channel cross section defines the upper frequency limit.

2.2 Analytical investigations

In 2018, FS Dynamics was tasked to perform numerical calculations to investigate the interference effect and, in a second task, to optimize the sound reduction effect with typical train spectra in focus [3]. The Actran software, using finite element formulations, were used and two CAE-models were created, with and without the interference sound damper. The basic 2D-model contained 130 000 elements to cover frequencies up to 4500 Hz. The source was of pressure type with a constant amplitude. Further, using infinite boundaries it was also possible to simulate the pressure at points outside the model.

The noise barrier was modeled as a 180 cm high and 13 cm thick wall. The interference model was placed on top of the noise barrier, raising it by 20 cm, hence the total height with the sound damper was 2,0 m. The source position was set to 0 m at 2 m distance from the wall and the microphones at 3 m from the wall. Once the interference effect was determined, the optimization process focused on the microphone at 2 m height, simulating 20 m distance from the wall (no.4).

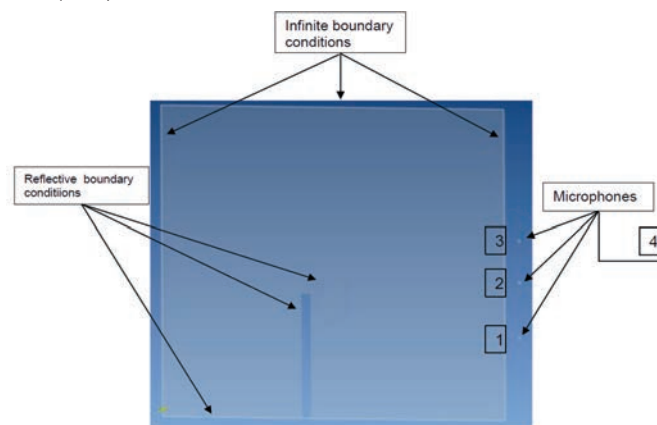


Figure 1: Basic model for the Actran simulations.

The simulations started with a basic interference sound damper design to investigate the effect, using channel dimensions based on the basic interference theory. A typical interference field could look like Figure 2.

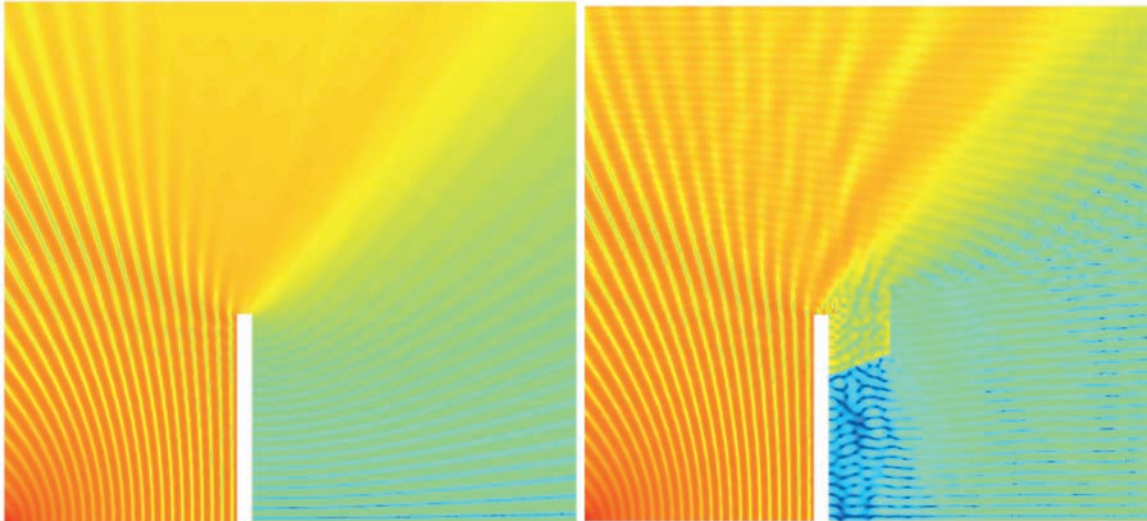


Figure 2: Sound field comparison without and with the interference sound damper at 2000 Hz.

The simulation of the first model of the interference sound damper showed the following differences in total sound level in the frequency spectrum in focus.

Table 1: Total sound level difference in the Actran simulation.

Calculation	Source position	Microphone position		
		1: 1.2 m	2: 2.0 m	3: 2.6 m
3 m from wall	0 m	4.2 dB	4.9 dB	3.6 dB

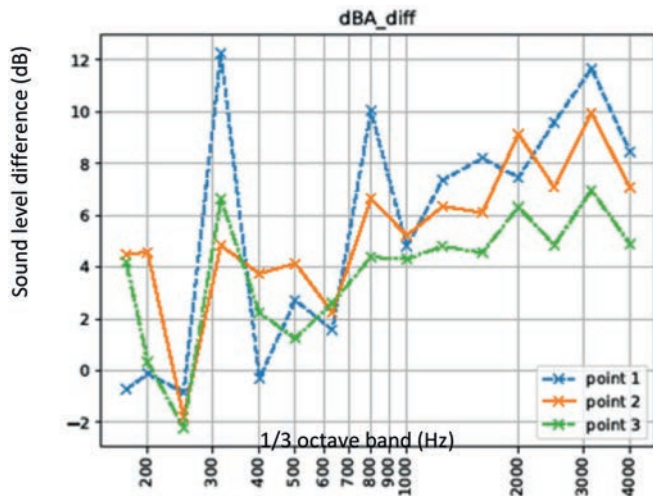


Figure 3: Sound level difference without and with the interference sound damper for the three receiving points.

As expected, frequency selectiveness of an interference sound damper is noticeable in the lower frequencies. The “sharp” curves could to some extent be a result of low damping in the material parameters.

The next step was to fine-tune the design to distribute the damping frequencies and increase the insertion loss for a general train noise spectrum, focusing on 500-4000 Hz. The fine-tuning used the channel lengths and cross-sections in a parameter study which resulted in a further decrease of the total sound pressure level between 200 and 4000 Hz by 0.5-0.7 dB.

2.3 Laboratory tests

The first prototype version, similar to the fine-tuned version from the Actran analysis, of the interference sound damper, was measured in the semi-anechoic chamber at RISE, Borås in 2020 [3]. The aim was to verify the final design of the interference function based on the simulation performed in 2018.

The noise barrier was built as a double wall using 10 mm plywood with a gap of 75 mm, total thickness 95 mm. Height of the noise barrier was 2 m and the prototype interference sound damper increased the height by 25 cm. The screen was placed diagonal (about 7.2 m long) in the test chamber and Wavebreaker units with a total length of 7 m on top of it.

The choice of measurement method was to correspond to standard EN 16727-4:2016 as close as possible. One major difference was that the microphone positions were kept at the same height throughout the measurements. A white noise was applied for 120 s and the total sound pressure level between 180 and 4500 Hz was evaluated, as well as the 1/3 octave bands 200 to 4000 Hz. By measuring without and with Wavebreaker, the difference of the sound pressure level due to the addition of the interference sound damper, could be interpreted as insertion loss.

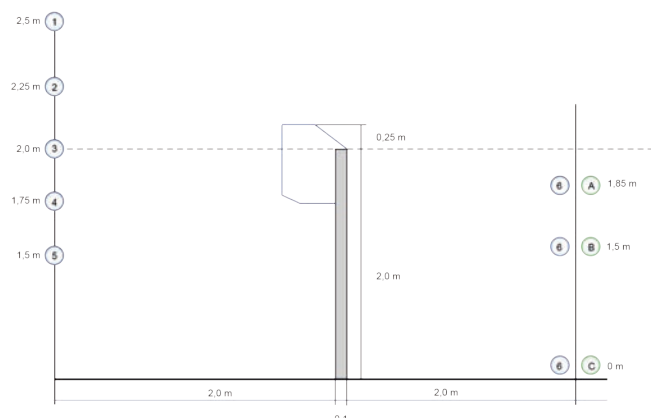


Figure 4: Test setup with three loudspeaker positions and five microphone positions on the receiver side.

The results of the tests, presented as insertion loss, are shown in the table below. In general, approximately 6 to 9 dB insertion loss could be seen. The added screening effect by the increased height (2 to 2.25) m is assumed to be about 2 dB (frequency dependent), which means that the interference effect alone was about 4-7 dB.

Microphone position	1	2	3	4	5
Sound source at 0 m	6.2	7.2	7.8	7.4	7.6
Sound source at 1.50 m	6.6	7.2	7.7	7.6	5.8
Sound source at 1.85 m	6.7	8.3	9.0	8.7	7.5
	dB	dB	dB	dB	dB

Table 2: Total sound level difference = insertion loss of the screen with the interference sound damper in the frequency range 180–4500 Hz.

The one third octave band evaluations verified that the design met the goal to optimize the noise reduction effect between 500-4000 Hz.

Based on the results achieved, the insertion loss for different train noise spectra was predicted as an indication on the use of the interference sound damping with Wavebreaker on top of a noise barrier. The results from the measurements with the sound source B and microphone position 3 were used.

The predicted values (Table 3) should be seen as indications that the intended work of fine-tuning the interference sound damper towards general train noise was effective enough to meet the target of 3-5 dB insertion loss.

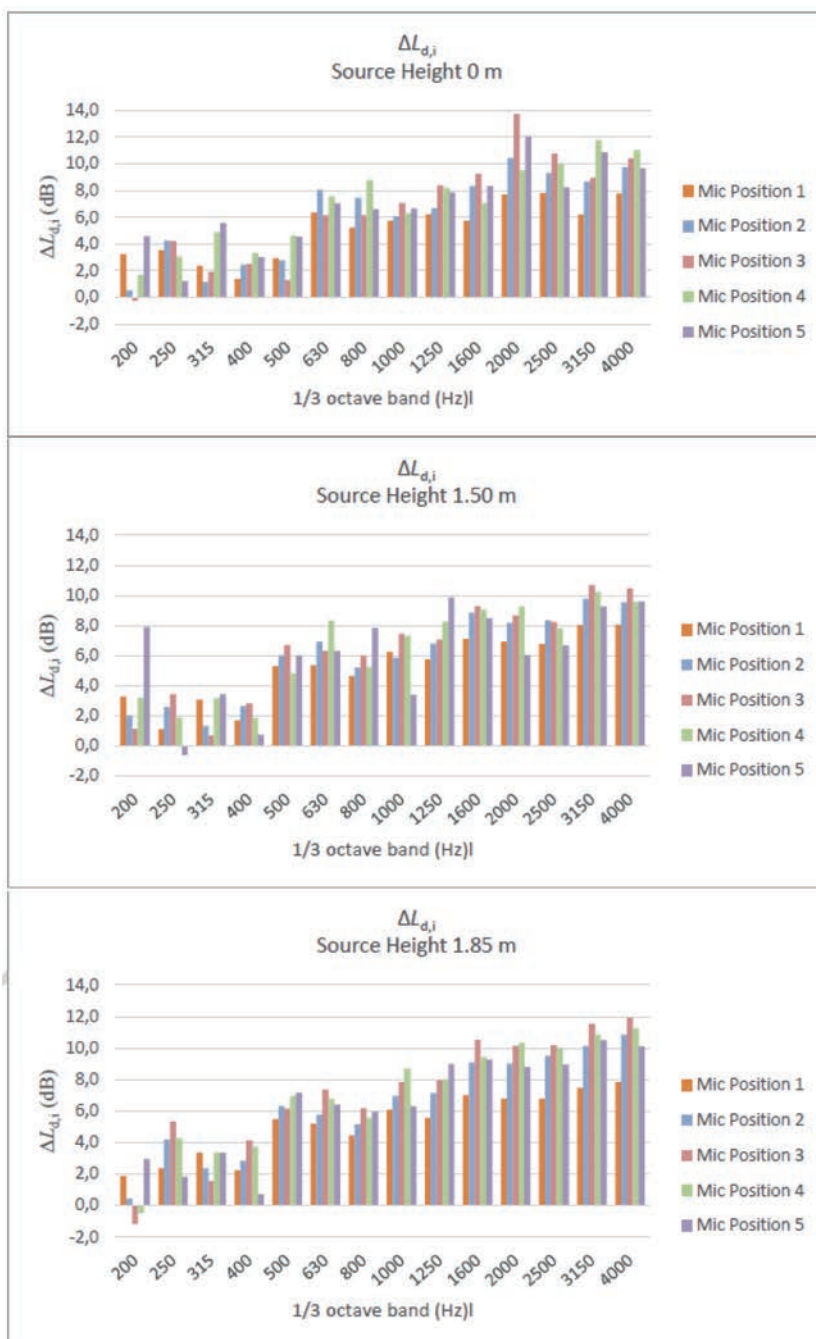


Figure 5: Sound level difference comparison in 1/3 octave bands.

Table 3: Predicted sound level difference for different train noise spectra (Nord2000/SS 25267:2004), based on positions B and 3. (High speed train spectrum = predicted values from SP Rapport 2015:42)

Train noise spectrum	EN 16727-3-1	Pass train RC 160 km/h	Freight train RC 4a-80 km/h	Pass train RC 120 km/h	X2000 200 km/h	X2000 80 km/h	High speed train 320 km/h
Predicted ins. loss, dB	6.3	6.1	7.1	6.0	6.8	6.7	4.9

Nyheter i sortimentet... Ljud och Vibration



SVANTEK Nya instrument med OLED



- SV979 Stort minne:8-16-32Gb
- Programvara SvanPC++ ingår
- 1 & 2ch Dosimeter SV102, 104
- 6ch Vibrationsmätare SV106
- SV971 i miniformat - minipris !



Kompletta system **G.R.A.S.** Sound & vibration

- Mikrofoner
- Accelerometrar
- Bullermätare
- Kalibratorer
- Akustisk Kamera
- Högtalare
- Hammarapparat
- Kablar: BNC-BNC, 10-32 till BNC, SMB-BNC



Accelerometrar:

- 0.2gram 10mV/g
- Triax 0.8gram
- Lågfrekvens
- DC accelerometrar
- Impulshammare



ACOUTRONIC

Acoutronic AB
Box 1180
SE -181 23 Lidingö
Sweden

Telefon...: +46 (0)8-765 02 80
Web...: www.acoutronic.se

E-mail.....: info@acoutronic.se

2.4 Comparisons calculations and tests

An interesting comparison was to lay the insertion loss results of the Actran FEM calculations, (the optimized sound damper at 20 m distance from the wall) – over the laboratory measurements. Although the small differences in the setup, as presented above, the tendencies of the behavior are well forecasted in the FEM calculations, or even underestimated.

Table 4: Total sound level difference using white noise comparing Actran and laboratory measurements.

Total sound level difference - Calculation vs measurement	Mic height position	Sound source height position		
		0 m	1,5 m	1,85 m
Actran, 20 m from wall	2 m	4,2 dB		
Measurement, 2m from wall	1,85 m	7,8 dB	7,7 dB	9,0 dB

Using FEM to do parameter studies seem to have its advantages of being able to analyse and fine-tune acoustic design without exaggerated results. In this comparison it seems to be a good tool in the mid and higher frequencies.

screen, whereas longer distances are more dependent on weather conditions. Field measurements of train noise at different distances from the track and different heights is planned for to map the effect. The aim of the pilot project is to validate the interference sound damper in cooperation with end clients. As a result of all data collected, a complete documentation with instructions for acoustic planners on how to implement the Wavebreaker interference sound damper into existing noise calculation tools will be summarized.

Other technical demands like durability for wind loads and shock wave from high-speed trains have been investigated but there is further need of field experience to clarify different practical issues. The pilot project is one step further to learn more. Future work also includes investigating the potential of using Wavebreaker for other traffic noise sources and other positions than on top of noise barriers. Any possibilities to design the interference sound damper for other spectra will be investigated also, since the product is made in a modular way.

3 SUMMARY

Train noise is a major problem in society and actors are looking for better solutions. Trafikverket noise specialists conclude e.g. that they themselves do not know what will be the decisive noise situation from trains, but they know that the traffic will increase. The trains will be longer and faster causing rising investments in more and higher noise screens. A new type of noise silencer for urban train noise, that can be used for both new railway projects and existing noise problems, is under development. It uses interference technology and is used and mounted as an additional device on top of the noise screens, with the result as if the walls were about 1-1.5 m higher. This effect means that noise screens could be built lower or performance could be enhanced without making the screen as

obtrusive as a higher screen. Also, non-reachable demands could be reached, both acoustically and economically. The use of Wavebreaker is predicted to cost about 25% of an increased height of 1-1.5 m of a standard screen.

Through analytical studies the interference sound damper has been optimized to reduce different typical train noise spectra by at least 3-5 dB which has been verified by different actors in the field to be an approved target. This has been verified by laboratory tests in a semi-anechoic chamber. Using the insertion loss spectrum on top of some typical train spectra to simulate the effect for different train situations resulted in 4-6 dB insertion loss (calculated between 180-4500 Hz). Assuming that the effect of an increased height of 20-25 cm is about 2 dB then the product seems to meet expectations on insertion loss.

The well-known interference sound damping effect has so far

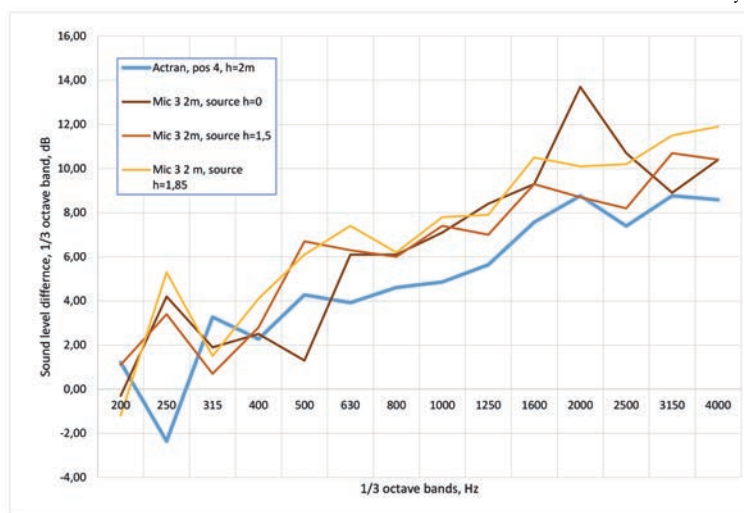


Figure 6: Sound level difference comparison using white noise. Actran calculations (20 m from wall, h=2.0 m) vs laboratory measurements (2 m from wall, h=1.85 m, different source heights).

Wavebreaker is designed for an optimum damping function in the frequency spectrum 500-4000 Hz. The effect in the lower frequencies cannot therefore be easily related to the acoustic design of the interference function. Taking into account for the approximately 2 dB screening effect of the 25 cm raise, the effect below 500 Hz is considered low. The difference in total sound level difference is influenced of the 6 dB difference at 250 Hz, but can also be related to the different differences in parameters, for instance the difference in height (25 cm) and the different distances to the wall (2 and 20 m).

2.5 Further work

A pilot project is planned to be realised within a year with a serial production version of the dampers. Wavebreaker is assumed to be working within 50-100 m range from the noise

had very few practical applications but the development of a new sound damper to enhance noise screening effects, designed especially for community noise from trains, could very well benefit from this acoustic technology. And maybe other community noise sources too?

(Notes: Wavebreaker is a registered trademark and the product has a global patent pending.)

References

[1] K. Mizuno et al., Research on a noise control device, 3rd report, Bulletin of JSME, vol 29, no. 253, 1986, 2260-2265.
 [2] S. Ingemansson, Ljuddämpande vädringsdon, Bygghälsöversynsmyndigheten, Stockholm, R47:1982, 1982.
 [3] J. Rubensson and J. Thunberg, Simulation of noise reduction from Wavebreaker, report FSD102236-01 rev4, Gothenburg, 2018
 [4] D. Glebe, K. Larsson, J. Parra, Laboratory measurements of the sound level difference due to an added device on a noise barrier, report HSA6018-1, Borås, 2020



Tony Johansson
 Wavebreaker AB
 info@wavebreaker.net

ACOUSTIC BLACK HOLES

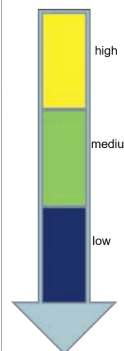
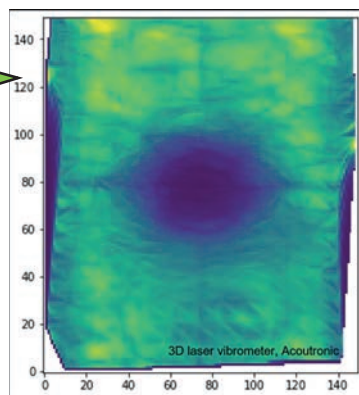
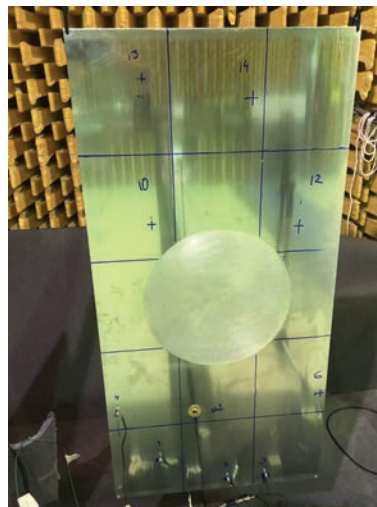
Theresia Manns (Volvo GTT)
 theresia.manns@volvo.com

Acoustic black holes (ABH) can be used to reduce structural vibrations. By reducing the thickness by a power law function $h(x) \sim x^m$, where m is a constant >2 , the phase velocity of the propagating flexural wave is reduced. As the thickness is reaching zero the propagating wave velocity would approach zero with no reflections. In practice a pit is created as the thickness can not be reduced to zero at the edge (or center) and by adding a damping layer to the ABH the reduction of vibrations can be further reduced. Benefits with ABH can be the use with light weight structures with less damping material added.

Scope of study: A generic study to understand the potential of the technique and experimental and numerical tools needed. Measurements have been done on rectangular plates (1x0.5 m) using a shaker and a 3D laser vibrometer for sensor less measurement. The ABH pits were varied in size, number, position and amount of added damping layer. A shaker was used as excitation of the structure (40-2000 Hz) and the frequency response functions (velocity, displacement) of the vibration signals were analyzed together with the radiated sound pressure. A numerical investigation was also performed for the same setup.

Results: the propagating flexural wave is reduced in amplitude and velocity with the ABH. Plotting the phase velocity of the 3D vibrometer across the plate with an ABH confirms the reduction in velocity towards the ABH center. It is confirmed that a damping layer in the pit is effective for reducing both the vibration and the radiated sound. Global cut on frequency for the radiated sound is found to be well < 1kHz.

Remaining open questions: a general guideline for number of pits and size vs frequency range for most efficient damping, how to quantify the obtained damping and the numerical methods (proven difficult).



Theresia Manns
 Volvo Group Trucks Technology
 theresia.manns@volvo.com



SAS TIPSAR OM INTERNATIONELLA KONFERENSER OCH KONGRESSER OCH HUR DESSA PÅVERKAS AV CORONAPANDEMIN

AIAA/CEAS AEROACOUSTICS 2020 DEN 15-19 JUNI BLIR EN E-KONGRESS

INTERNOISE 2020 I SYDKOREA DEN 23-26 AUGUSTI BLIR EN E-KONGRESS

ISMA 2020 7-9 SEPTEMBER I LEUVEN BLIR EN E-KONGRESS

BNAM 2020 I OSLO FRAMFLYTAD TILL 3-5 MAJ 2021

ICBEN 2020 I STOCKHOLM FRAMFLYTAD TILL 14-17 JUNI 2021

ICSV27 2020 I PRAG FRAMFLYTAD TILL JULI 2021

ISNVH 2020 I GRAZ FRAMFLYTAD TILL 3-5 NOVEMBER 2020

